



TESIS - KS142501

MODEL DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEMS (MD-DSS)
UNTUK STRATEGI PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK YANG RAMAH LINGKUNGAN DALAM RANGKA
MENJAMIN KEBERLANJUTAN *SUPPLY* DAN *DEMAND*
ENERGI LISTRIK DI KEPULAUAN (CASE STUDY : PULAU
MADURA)

ADDIN ADITYA
5214201014

DOSEN PEMBIMBING
Erma Suryani, ST, MT, Ph.D
Rully Agus Hendrawan, S.Kom, M.Eng

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN SISTEM INFORMASI
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - KS142501

**MODEL DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR
GOOD ENVIRONMENTALLY POWER ELECTRICITY
SYSTEM PLAN AND STRATEGY IN ORDER TO
ENSURE SUPPLY AND DEMAND ELECTRICITY
POWER IN INDONESIA'S ISLANDS**

ADDIN ADITYA

5214201014

SUPERVISORS

Erma Suryani, ST, MT, Ph.D

Rully Agus Hendrawan, S.Kom, M.Eng

MASTER PROGRAMME

DEPARTMENT OF INFORMATION SYSTEM

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M.Kom)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Addin Aditya
NRP. 5214201014

Tanggal Ujian : 29 Desember 2016
Periode Wisuda : Maret 2017

Disetujui oleh :

Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197004272005012001

(Pembimbing I)

Rully Agus Hendrawan, S.Kom., M.Eng.
NIP. 198112292005011002

(Pembimbing II)

Dr. Apol Pribadi Subriadi, S.T., M.T.
NIP. 197002252009121001

(Penguji)

Mahendrawathi ER., S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197002252009121001

(Penguji)

an. Direktur Program Pascasarjana,
Asisten Direktur

Prof. Dr. Ir. Tri Widajaja, M.Eng.
NIP. 196012021987011001



[halaman ini sengaja dikosongkan]

**MODEL DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEM (MD-DSS) UNTUK
STRATEGI PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK YANG
RAMAH LINGKUNGAN DALAM RANGKA MENJAMIN
KEBERLANJUTAN SUPPLY AND DEMAND ENERGI LISTRIK DI
DAERAH KEPULAUAN
(CASE STUDY: PULAU MADURA)**

Nama mahasiswa : Addin Aditya
NRP : 5214201014
Pembimbing I : Erma Suryani, ST, MT, Ph.D
Pembimbing II : Rully Agus H, S.Kom, M.Eng

ABSTRAK

Salah satu permasalahan Indonesia sebagai Negara Kepulauan adalah tidak meratanya rasio elektrifikasi di seluruh Kepulauan. Terutama pulau-pulau kecil dan terpencil sangat tidak efektif membangun pembangkit tenaga listrik yang besar dikarenakan rasio antara jumlah penduduk dan biaya investasi masih besar sekali. Disini strategi untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di daerah kepulauan menjadi tantangan bagi pemerintah Indonesia. Sebagai contoh, menurut data di PT PLN Distribusi Jawa Timur, Pulau Madura memiliki rasio elektrifikasi sebesar 59.02 % dan merupakan yang terendah di provinsi Jawa Timur, ini dikarenakan kecilnya jumlah Kepala Keluarga (KK) di satu desa sementara jarak per desa cukup jauh sehingga hitungan investasi tidak mencukupi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikembangkan MD-DSS (*Model Driven Decision Support System*). Yang dimaksud dengan *Model Driven Decision Support System* adalah lebih menekankan pada akses dan manipulasi dari statistik, finansial, optimasi atau model simulasi. MD-DSS ini meliputi sistem dinamik dan sistem visualisasi. Adapun dasar penggunaan sistem dinamik ini adalah kemampuan metode ini untuk mengartikulasi faktor-faktor yang kompleks dan berelasi non linear. Sistem visualisasi memudahkan pada top management untuk menganalisis sistem dan mengambil langkah strategis yang diperlukan untuk kelancaran kinerja sistem pembangkit. Diharapkan dapat terciptanya teknologi *Model Driven Decision Support System* untuk pengembangan dan perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik yang terintegrasi dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT).

Kata kunci: *Model Driven Decision Support Systems, Sistem Dinamik, Supply, Demand, Energi Listrik, Ramah Lingkungan, Sistem Visualisasi*

[halaman ini sengaja dikosongkan]

MODEL DRIVEN DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR GOOD ENVIRONMENTALLY POWER ELECTRICITY SYSTEM PLAN AND STRATEGY IN ORDER TO ENSURE SUPPLY AND DEMAND ELECTRICITY POWER IN INDONESIA'S ISLANDS

Student Name : Addin Aditya
NRP : 5214201014
Supervisor I : Erma Suryani, S.T, M.T., Ph.D
Supervisor II : Rully Agus H, S.Kom, M.Eng

ABSTRACT

One of the Indonesia's problem as an archipelago country is uneven electrification ration in the entire of archipelago. Especially for small and isolated islands are not effectively build a large power plant due the ratio between populations and investment are immense. In here, a strategy to increase the electrification ratio in the islands is a challenge for the Indonesia Government. For example, according to data from PT PLN (Persero) East Java, Madura island has 59.02% electrification ratio and it is the lowest electrification ratio in East Java, due the small number of families in a village while the distance between village are far so that the matter of investment is insufficient. Therefore, in this research will be developed a MD-DSS (Model-Driven Decision Support System). MD-DSS is more emphasis on access and manipulation of statistical, financial, optimization or model and simulation. MD-DSS include of dynamics systems and visualization systems. The basic of using dynamis systems is the ability to articulate complex and non-linear related faktors. Visualization systems facilitate top management to analyze system and take strategic step for power systems performance. We expected to be creation of MD-DSS Technology for development and planning of integrated and environmentally power systems by utilizing renewable energi.

Keywords: *Model-Driven Decision Support Systems, Dynamic Systems, Supply, Demand, Power Systems, Electrification Ratio, Renewable Energi, Visualization System*

[halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puja dan puji syukur kepada Alloh Subhanallohu Wata'ala yang telah memberikan kekuatan dan kesabaran sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa penulis haturkan Sholawat serta Salam kepada Nabi Muhammad Shollu Alaihi Wassalam yang selalu menjadi inspirasi bagi seluruh umat muslim. Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Erma Suryani, Ph.D selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan nasihat, arahan dan motivasi kepada penulis
2. Bapak Rully Agus Hendrawan, S.Kom, M.Eng selaku dosen pembimbing 2 yang dengan sabar mendampingi dalam penulisan tesis.
3. Bapak dan ibuku tersayang Ir. Siswono dan Elfi Semidia yang tak pernah lelah berdoa, menitikkan air mata dan bersujud kepada Yang Kuasa untuk kesuksesan dan keselamatan anaknya
4. Masku Dana Adisukma, ST., M.Sc dan adikku Gilang Adtriatma yang selalu memotivasi dengan cara yang tak pernah penulis pahami.
5. Keluarga besar Jurusan Sistem Informasi dan Sistem Komputer ITATS. Thank You so much guys!
6. Teman-teman Pascasarjana Sistem Informasi 2014 yang sudah memberikan kenangan, suka dan duka cita. Sampai jumpa di persimpangan hidup kawanku.
7. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tesis ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun agar menjadi lebih baik.

Akhir kata semoga penelitian ini bisa memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, November 2016

Penulis

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

Abstrak	iv
Abstract.....	vi
Kata Pengantar.....	viii
Daftar Isi	x
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel.....	xviii
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Perumusan masalah.....	6
1.3 Ruang lingkup penelitian	6
1.4 Tujuan penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
1.6 Kontribusi Penelitian	7
a. Kontribusi Teoritis	7
b. Kontribusi Praktis	8
1.7 Sistematika Penelitian.....	8
BAB 2 Tinjauan Pustaka	9
2.1. Dasar Teori	9
2.1.1. Asumsi Dalam Perkiraan Kebutuhan tenaga Listrik.....	9
2.1.2 Kondisi Ketenagalistrikan di Pulau Madura	10
2.1.3 Rasio Elektrifikasi di Pulau Madura	11
2.1.4 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik	11
2.1.5 Faktor-Faktor dalam Pembangkitan.....	21
2.1.6 Analisis Teknis Pembangkit Listrik.....	22

2.1.7 Analisis Ekonomis Pembangkit Listrik	27
2.1.8 Sistem Penunjang Keputusan	28
2.1.9 Dashboard System	31
2.2.1. Sistem Dinamik	33
2.2. Kajian Pustaka	35
BAB 3 Metode Penelitian	39
3.1. Pengumpulan Data	40
3.2. Tahapan Penelitian	40
3.3. Pemodelan Sistem	40
3.4. Causal loop diagram	41
3.5. Verifikasi dan Validasi	42
3.6. Perlakuan Model dengan Skenario	43
3.7. Analisa dan Pembahasan Hasil Simulasi	43
3.8. Kesimpulan dan Saran	43
3.9. Jadwal Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB IV PENGEMBANGAN MODEL	45
4.1 Model Kebutuhan Daya Listrik	45
4.1.1 Sub Model Kebutuhan Daya Listrik Kabupaten Utama	45
4.1.2 Sub Model Kebutuhan Daya Listrik Pulau Kecil	49
4.2 Validasi Data	52
4.2.1 Sub Model Kebutuhan Daya	52
4.3 Model Skenario	53
4.3.1 Sub Model Pertumbuhan Permintaan Energi Listrik	54
4.3.2 Sub Model Skenario Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Kepulauan	55
4.3.3 Sub Model Rasio Pemenuhan Kebutuhan PLTS	57
4.3.2 Sub Model Perencanaan Kapasitas Energi Listrik	58

4.3.3 Sub Model PLTA, Utilisasi Batubara dan Utilisasi Gas Kabupaten Sampang	59
4.3.4 Sub Model Utilisasi Batubara Kabupaten Pamekasan dan Bangkalan .	61
4.3.5 Sub Model Utilisasi Batubara dan Gas Alam di Kabupaten Sumenep .	62
4.3.6 Sub Model Pemilihan Lokasi Pembangkit Listrik	63
4.4 Pengembangan Dashboard.....	68
4.4.1 Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Kepulauan Madura	68
4.4.2 Perencanaan Kapasitas Pembangkit Masing-Masing Kabupaten	70
4.4.3 Pemetaan Daerah Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik.....	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN I.....	79
LAMPIRAN II.....	81
BIODATA PENULIS	83

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proyeksi Kebutuhan Listrik per Sektor di Indonesia Tahun 2003 – 2020	3
Gambar 2. 1 Penampang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel	12
Gambar 2. 2 Contoh Gambar Dashboard Sederhana.....	33
Gambar 2. 3 Causal Loop Diagram Sistem Pembangkit Listrik untuk Sektor Industri (Axella, 2012)	36
Gambar 2. 4 Causal Loop Diagram Tingkat Kepuasan Pelanggan Terhadap Energi Listrik (Saptari,2014)	37
Gambar 3. 1 Tahapan Metodologi Penelitian	39
Gambar 3. 2 Causal Loop Diagram Keseluruhan.....	42
Gambar 4. 1 Flow Diagram Kebutuhan Daya Kabupaten Utama di Madura	45
Gambar 4. 2 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Bangkalan.....	46
Gambar 4. 3 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Sumenep.....	47
Gambar 4. 4 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Sampang.....	47
Gambar 4. 5 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Pamekasan.....	48
Gambar 4. 6 Grafik Simulasi Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Madura	48
Gambar 4. 7 Flow Diagram Kebutuhan Energi Listrik Pulau-Pulau Kecil	49
Gambar 4. 8 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Sapeken	49
Gambar 4. 9 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Kangean.....	50
Gambar 4. 10 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Sapudi.....	50
Gambar 4. 11 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Gili Genting.....	51
Gambar 4. 12 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Mandangin.....	51
Gambar 4. 13 Grafik Simulasi Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Pulau Kecil	52

Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Data Riil dan Data Simulasi Kebutuhan Daya Energi Listrik Kabupaten Pamekasan	53
Gambar 4. 15 Grafik Hasil Simulasi Skenario Optimis Sub Model Permintaan Energi Listrik Kabupaten Madura.....	54
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Simulasi Skenario Optimis Sub Model Permintaan Energi Listrik Pulau Kecil di Madura	55
Gambar 4. 17 Model Skenario Kebutuhan Listrik untuk Pulau Sapeken dan Pulau Gili Genteng.....	56
Gambar 4. 18 Model Skenario Pemenuhan Kebutuhan Kecamatan Sapeken dan Gili Genteng.....	57
Gambar 4. 19 Sub Model Perencanaan Kapasitas Energi Listrik	58
Gambar 4. 20 Sub Model PLTA, Utilisasi Batubara dan gas di Kabupaten Sampang.....	60
Gambar 4. 21 Rasio Pemenuhan Kebutuhan Listrik pada PLTA Toroan.....	61
Gambar 4. 22 Sub Model Utilisasi Batubara Kabupaten Pamekasan	61
Gambar 4. 23 Sub Model Utilisasi Batubara Kabupaten Bangkalan	62
Gambar 4. 24 Sub Model Utilisasi Batubara dan Gas Alam Kabupaten Sumenep	63
Gambar 4. 25 Diagram Flow Penentuan Kelayakan Lokasi dan Jenis Pembangkit untuk Kabupaten Sampang	64
Gambar 4. 26 Total Faktor Lokasi Pembangkit Pantai Camplong	64
Gambar 4. 27 Kelayakan Lokasi Pembangkit Listrik untuk Pantai Camplong	66
Gambar 4. 28 Hasil Running Simulasi Total Faktor Daerah Oyong	66
Gambar 4. 29 Hasil running Simulasi Kelayakan Lokasi Oyong	67
Gambar 4. 30 Hasil Running Simulasi Total Faktor Lokasi Pembangkitan Air Terjun Toroan.....	67
Gambar 4. 31 Hasil Running Simulasi Kelayakan Pembangkit untuk Lokasi Air Terjun Toroan.....	68
Gambar 4. 32 Pertumbuhan Permintaan Energi Listrik Kabupaten Utama Madura	69
Gambar 4. 33 Pertumbuhan Permintaan Energi Listrik Pulau-Pulau Kecil Madura	69

Gambar 4. 34 Visualisasi Perencanaan Kapasitas per Region	70
Gambar 4. 35 Pemetaan Potensi Lokasi Pembangkitan Energi Listrik Pulau Madura.....	71

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variabel Terkait Tujuan Penelitian	41
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1 Validasi Sub Model Kebutuhan Daya Kabupaten Pamekasan.....	52
Tabel 4. 2 Data Kebutuhan Listrik Minimum untuk Rumah Tangga dan Fasilitas Umum	56
Tabel 4. 3 Data Kecamatan Sapeken dan Gili Genting	57

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas latar belakang mengenai penelitian, meliputi rasio elektrifikasi di masing-masing provinsi, kriteria jenis pembangkit listrik yang baik serta metode yang digunakan untuk penelitian.

1.1 Latar Belakang Penelitian

Energi merupakan kebutuhan utama sepanjang peradaban manusia. Peningkatan kebutuhan energi dapat menjadi indikator peningkatan kemakmuran, namun pada saat yang sama menimbulkan masalah dalam hal penyediaannya (Bachtiar, 2006). Saat ini rasio elektrifikasi di Negara Indonesia masih belum memenuhi asas keadilan dan pemerataan dikarenakan ketersediaan listrik tidak sebanding dengan kebutuhan masyarakat. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2014), saat ini terdapat 14 provinsi di Indonesia yang memiliki rasio elektrifikasi di atas 60%, yaitu Aceh (76,98%), Sumatera Utara (69,68%), Sumatera Barat (69,37%), Bangka Belitung (72,88%), Banten (63,90%), Jakarta (100%), Jawa Barat (67,40%), Jawa Tengah (71,24%), DIY (84,48%), Jatim (71,55%), Bali (74,98%), Kalimantan Timur (68,56%), Kalimantan Selatan (72,29%) dan Sulawesi Utara (66,87%). Sementara 14 provinsi lainnya memiliki rasio elektrifikasi berkisar antara 41%-60%. Provinsi yang termasuk kategori ini adalah Riau dan Kepri (55,84%), Jambi (51,41%), Bengkulu (51,46%), Lampung (48,82%), Sumatera Selatan (50,30%), Kalimantan Barat (45,83%), Kalimantan Tengah (45,22%), Gorontalo (49,79%), Sulawesi Tengah (48,30%), Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan (55,2%), Maluku (54,51%) dan Maluku Utara (49,44%). Provinsi lainnya masih memiliki elektrifikasi antara 20%-40% yaitu Nusa Tenggara Barat (32,51%), Nusa Tenggara Timur (24,55%), Sulawesi Tenggara (38,09%) serta Papua dan Irian Barat (32,35%).

Namun tidak demikian dengan masyarakat Provinsi Jawa Timur. Data PT PLN Distribusi Jawa Timur menyebutkan ada sekitar 40 dari 8.506 desa yang belum teraliri listrik (JPNN, 2013). Di pulau Madura, dari 219.439 kepala keluarga (KK), yang teraliri listrik masih sekitar 129.522 KK, sehingga rasio elektrifikasinya hanya berkisar 59,02%. Madura merupakan daerah dengan rasio elektrifikasi terendah di Jawa Timur. Keadaan ini disebabkan oleh kecilnya

jumlah KK di satu desa sementara jarak per desa cukup jauh sehingga hitungan investasi juga tidak mencukupi. Sementara tahun ini, menurut Deputi Manajer Komunikasi dan Bina Lingkungan PT PLN (Persero) Distribusi Jatim, rasio elektrifikasi Jawa Timur ditargetkan naik menjadi 77.16 %. Untuk mencapainya, PLN akan melaksanakan berbagai macam program. Salah satunya program lisdes (listrik pedesaan) dan percepatan penyambungan listrik untuk pelanggan baru.

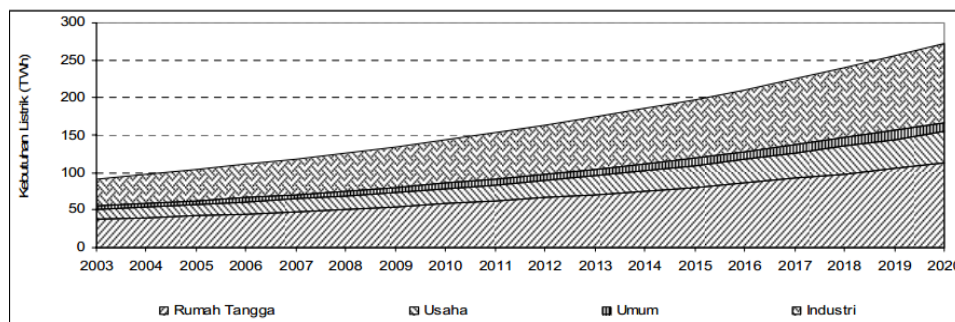
Sistem tenaga listrik untuk daerah kepulauan memiliki kendala khusus karena sistem di kepulauan sendiri tidak dapat memanfaatkan listrik dari jaringan transmisi antar pulau (Mayer, 2000). Sampai saat ini, kondisi kelistrikan di Pulau Madura masih bergantung pada pasokan Jawa melalui dua sirkit kabel laut tegangan tinggi 150.000 volt berkapasitas 2x100 MW yang terbentang dari Gresik menuju Kamal, Madura. Kabel transmisi ini harus melalui Selat Madura yang sering dilalui oleh Kapal sehingga rentan dengan kerusakan yang disebabkan oleh jangkar. Berdasarkan data PLN Distribusi Jawa Timur, di Madura terdapat sekitar 395.000 pelanggan listrik yang tersebar di Kab. Bangkalan, Kab. Sampang Kab. Pamekasan dan Kab. Sumenep dengan pertumbuhan mencapai 2% per tahun. Saat ini, PLN telah mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) berkapasitas 2 x 18 MW di Gili-Timur Kab. Bangkalan, Madura untukantisipasi jika terjadi gangguan pada transmisi. Biaya operasional PLTG ini cukup besar yaitu Rp 12 Milyar per bulan.

Untuk mendukung program peningkatan rasio elektrifikasi dan sejalan dengan perkembangan teknologi pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), khususnya pemanfaatan radiasi sinar matahari, angin, arus laut, gelombang dan *ocean thermal energi conversion* (OTEC) maka diperlukan untuk pengembangan pembangkit listrik baru dengan mempertimbangkan kebutuhan dan potensi daerah setempat, terutama pulau-pulau kecil terpencil di Indonesia Bagian Timur. Menurut Kementerian Kelautan dan Perikanan, definisi pulau kecil adalah pulau dengan luas area < 2.000 km² dengan jumlah penduduk < 20.000 jiwa. Dari segi fisik, desa di pulau-pulau kecil memiliki sumber daya alam daratan yang sangat terbatas sehingga tidak mampu untuk memiliki pembangkit listrik sendiri, sedangkan sumber daya alam laut yang tersedia juga hanya cukup untuk menunjang kehidupan masyarakat sehari-hari.

Dalam memilih jenis pembangkit listrik, perlu diperhatikan beberapa kriteria, diantaranya adalah: *prediksi pertumbuhan beban per tahun, karakteristik kurva beban, keandalan sistem pembangkit, ketersediaan dan harga sumber daya primer, lingkungan sosial dan politik* (Sutrisna dan Raharjo, 2009).

- **Prediksi pertumbuhan beban per tahun**

Kebutuhan listrik di daerah Jawa, Bali dan Madura terdiri dari distribusi Bali, Distribusi Jawa Timur, Distribusi Jawa Tengah-Jogjakarta, Distribusi Jawa Barat-Banten, dan Distribusi Jawa Barat-Tangerang. Total kebutuhan dari 5 wilayah distribusi tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kebutuhan listrik pada wilayah lainnya di Indonesia, yaitu sekitar 80% dari total kebutuhan listrik nasional. Hal ini disebabkan Jamali merupakan pusat dari segala kegiatan, namun pemakaiannya masih tergolong kurang efisien. Selama kurun waktu 17 tahu (2003-2020) diperkirakan kebutuhan listrik di daerah Jamali tumbuh sebesar 6% per tahun, sedikit lebih rendah bila dibandingkan dari rata-rata Indonesia (6.5%) sehingga pada tahun 2020 total kebutuhan listrik di Jamali adalah sekitar 203.19 TWh (Muchlis dan Permana, 2005).



Gambar 1. 1 Proyeksi Kebutuhan Listrik per Sektor di Indonesia Tahun 2003 – 2020

Besarnya energi listrik yang dibangkitkan harus sesuai dengan kebutuhan beban pada saat yang sama. Secara garis besar, ada 3 tipe pembangkit berdasarkan waktu beroperasinya. Yang pertama tipe *base* untuk menyangga beban-beban dasar yang konstan, dioperasikan sepanjang waktu dan memiliki waktu mula yang lama. Yang kedua tipe *intermediate* biasanya digunakan sewaktu-waktu untuk menutupi lubang-lubang beban dasar pada kurva beban, memiliki waktu mula yang cepat dan lebih reaktif. Yang ketiga adalah tipe

peak / puncak yang hanya dioperasikan oleh PT PLN saat PLN menghadapi beban puncak.

- **Keandalan Sistem Pembangkit**

Banyak faktor yang menjadi parameter keandalan dan kualitas listrik. Diantaranya: (i) Ketidakstabilan frekuensi (ii) Fluktuasi tegangan (iii) interupsi atau pemadaman listrik. Untuk parameter pertama dan kedua, umumnya permasalahannya muncul di sektor transmisi atau distribusi. Sedangkan parameter ketiga lebih banyak pada sektor pembangkitan, karena terkait masalah pemenuhan kapasitas pasokan terhadap beban. Metoda yang biasa digunakan untuk menentukan indeks itu adalah dengan metoda LOLP (*Loss of Load Probability*) atau sering dinyatakan sebagai LOLE (*Loss of Load Expectation*). Probabilitas kehilangan beban adalah metode yang dipergunakan untuk mengukur tingkat keandalan dari suatu sistem pembangkit dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya peristiwa sistem pembangkit tidak dapat mensuplai beban secara penuh. Banyak kegagalan pembangkit terjadi akibat tidak tersedianya sumber energi primer. Permasalahan ketersediaan ini seringkali menimpa pembangkit-pembangkit berbahan bakar fosil. Di Indonesia sendiri banyak pembangkit berbahan bakar gas yang harus dioperasikan dengan bahan bakar minyak karena langkanya ketersediaan gas untuk konsumsi pembangkit Indonesia. Atau bisa juga karena masalah distribusi yang tersendat, seperti masalah kapal batubara yang tidak bisa merapat, terganggu akibat faktor cuaca. Sedangkan pada kebanyakan pembangkit listrik energi terbarukan, ketersediaanya memang bisa dibilang cukup menjanjikan, karena semuanya memang sudah tersedia di alam dan tinggal dimanfaatkan saja

- **Aspek Ekonomi**

Pertimbangan aspek ekonomi pembangkit umumnya meliputi 3 lingkup besar, yaitu: (i) biaya investasi awal; (ii) biaya operasional; (iii) biaya perawatan pembangkit. Sifat ekonomis sebuah sistem pembangkit listrik dapat dilihat dari harga jual listrik untuk setiap kWh (kilo watt kali jam). Salah satu faktor yang mempengaruhi bahwa pembangkit listrik-ekonomis (harga jual listrik serendah mungkin untuk setiap kWh) adalah biaya bahan bakar. Secara

umum, biaya bahan bakar untuk pembangkit berbahan bakar fosil adalah 80 % dari biaya pembangkitan dan untuk pembangkit nuklir adalah 50 % dari biaya pembangkitan

- **Aspek sosial dan politik**

Kebijakan pemerintah tentang program penelitian dan pengembangan di bidang energi dan kebutuhan masyarakat harus sesuai untuk menjamin perencanaan energi nasional di masa yang akan datang (Sutrisna dan Rahardjo, 2009).

- **Aspek Lingkungan dan Geografis**

Sistem harus sesuai dengan kondisi geografis dan hubungan antarnegara. Sebuah pembangkit dibangun mengacu pada letak geografis dan pengaruhnya terhadap negara tetangga atau negara lain. Misalkan sebuah PLTU dioperasikan dan mengeluarkan gas CO₂ ke udara. Pengontrolan terhadap pengeluaran gas CO₂ perlu dilakukan juga oleh negara tetangga atau negara lain. Di dalam hal ini, kerjasama internasional sangat diperlukan untuk menjamin sistem berkeselamatan andal dan ramah lingkungan.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *Model-Driven Decision Support System* dan sistem dinamik. Menurut Axella (2012), alasan digunakan model simulasi sistem dinamik dikarenakan sistem dinamik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode peramalan konvensional. Kelebihan tersebut yaitu model sistem dinamik dapat memberikan perkiraan yang lebih handal daripada model statistik, model sistem dinamik menyediakan cara untuk memahami perilaku industri, mendeteksi terhadap perubahan dini dan penentuan faktor-faktor yang meramalkan perilaku secara sensitive dan signifikan (Lyneis, 2000). Sedangkan yang dimaksud *Model-Driven Decision Support System* adalah lebih menekankan kepada akses dan manipulasi dari statistik, finansial, optimasi atau model simulasi. MD-DSS menggunakan data dan parameter yang didapat dari pengguna untuk membantu membuat keputusan dalam menganalisis situasi (Gachet, 2004).

Oleh sebab itu, pengelolaan sumber daya alam khususnya energi di pulau-pulau kecil harus dilakukan secara terencana dan sistematis agar perekonomian masyarakat semakin meningkat terutama penyediaan akan listrik yang mulai menjadi kebutuhan pokok saat ini.

1.2 Perumusan masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang diatas, selanjutnya dapat dirumuskan dalam bentuk pertanyaan yaitu:

- a) Aspek-aspek apa saja yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan kapasitas pusat tenaga listrik?
- b) Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kelayakan suatu lokasi untuk dikembangkan pusat tenaga listrik berdasarkan sumber daya yang dimiliki suatu wilayah?
- c) Lokasi mana saja yang cocok untuk dikembangkan pembangkitan tenaga listrik di Pulau Madura?
- d) Bagaimana mengintegrasikan antara output model dengan visualisasi *dashboard*?

1.3 Ruang lingkup penelitian

Lingkup penelitian ini adalah:

- Pendekatan *Model Driven DSS (MD-DSS)* untuk peramalan
- Data rasio elektrifikasi yang digunakan berasal dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (www.djk.esdm.co.id) serta data dari PT PLN Area Pamekasan (www.pln.co.id)
- Analisis berfokus kepada sistem pembangkit listrik apa yang cocok untuk daerah Pulau Madura serta analisa teknis dan non teknis dalam perencanaan pengembangan sistem pembangkit tenaga listrik.
- Pembuatan visualisasi untuk sistem pendukung keputusan pengembangan dan operasional sistem pembangkit listrik.

1.4 Tujuan penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah penelitian ini mempunyai tujuan yaitu:

1. Mengembangkan teknologi *Model Driven DSS (MD-DSS)* untuk pengembangan, perencanaan dan operasional sistem pembangkit tenaga listrik yang terintegrasi dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT). Terintegrasi yang dimaksud adalah integrasi dalam hal operasional, *maintenance*, rekayasa, pelatihan dan administrasi
2. Meningkatkan efisiensi proses pembangkitan tenaga listrik
3. Meningkatkan rasio elektrifikasi Pulau Madura

4. Meningkatkan efektivitas dan efisiensi pembangkit, transmisi dan distribusi energi listrik di daerah kepulauan Madura.
5. Mengembangkan visualisasi Sistem Pendukung Keputusan Pengembangan dan Operasional Sistem Pembangkit yang dapat memudahkan pengembangan dan kebijakan manajemen operasional sistem pembangkit listrik.
6. Menciptakan kemandirian bagi Pulau Madura dalam pasokan energi listrik dengan terciptanya sistem pembangkit yang terintegrasi.
7. Mengembangkan inovasi sistem pembangkit ramah lingkungan yang terintegrasi untuk menjamin keberlangsungan *supply* dan *demand* energi listrik di Pulau Madura.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun harapan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Bagi PT PLN dapat dijadikan suatu referensi kebijakan dalam perencanaan dan pengembangan sistem pembangkit listrik di daerah kepulauan
2. Bagi pemerintah Indonesia diharapkan dapat memberikan gambaran tentang potensi pembangkit listrik apa yang cocok dan efisien serta efektif untuk daerah kepulauan
3. Manfaat bagi kalangan akademisi adalah diharapkan *Model Driven-DSS* ini dapat menjadi bahan pembelajaran serta pembaharuan terkait dengan sistem pendukung keputusan.
4. Manfaat bagi keilmuan khususnya jurusan sistem informasi yaitu sebagai bahan pembelajaran terkait dengan sistem penunjang keputusan, dimana salah satu bagian dari sistem penunjang keputusan yaitu pembuatan model dapat menggunakan pendekatan sistem dinamik dan *MD-DSS*

1.6 Kontribusi Penelitian

a. Kontribusi Teoritis

Kontribusi teori dalam penelitian ini adalah pengembangan model sistem dinamik beserta sub model perencanaan kapasitas pembangkit listrik, sub model kelayakan lokasi pengembangan pembangkit listrik, sub model rasio pemenuhan kebutuhan listrik suatu wilayah dan sub

model perencanaan pembangkit listrik tenaga surya untuk strategi perencanaan dan pengembangan pembangkitan listrik di daerah kepulauan.

b. **Kontribusi Praktis**

Dalam dimensi praktis, penelitian ini menjadi dapat membantu pihak manajemen, dalam hal ini PLN, untuk melakukan perencanaan pembangkitan tenaga listrik melalui berbagai skenario model, sehingga kebijakan yang diambil dapat tepat sasaran untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di Pulau Madura dan diharapkan dapat diterapkan pada Pulau-Pulau kecil yang belum teraliri listrik khususnya di Indonesia Timur.

1.7 Sistematika Penelitian

- A. **Bab I Pendahuluan.** Bab ini berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian serta sistematika penulisan.
- B. **Bab II Dasar Teori dan Kajian Pustaka.** Berisi tinjauan pustaka yang meliputi teori-teori dasar sistem pembangkit listrik dan teori tentang sistem dinamik.
- C. **Bab III Metodologi Penelitian.** Bab ini berisi tentang langkah-langkah penelitian.
- D. **Bab IV Analisa dan Pengembangan Model.** Bab ini berisi tentang pengembangan model dari perencanaan pembangkitan energi listrik berdasarkan data yang sudah ada, validasi model, skenario yang ditawarkan dan visualisasi *dashboard*
- E. **Bab V Kesimpulan.** Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian serta dikemukakan beberapa saran yang kiranya dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan berbagai dasar teori dan referensi yang digunakan dalam penelitian.

2.1. Dasar Teori

Dasar teori merupakan semua teori yang diambil atau dipilih berdasarkan kajian pustaka yang melatar belakangi permasalahan penelitian yang akan dilakukan. Dasar teori ini selanjutnya akan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan penelitian. Dalam bab ini dijelaskan mengenai teori-teori yang dipakai untuk penyusunan penelitian, teori-teori tersebut adalah, penjelasan tentang sistem tenaga listrik, kondisi ketenagalistrikan di Pulau Madura, teori *Model Driven-DSS*, teori sistem dinamik, variable-variabel apa saja sebagai penyusun model sistem dinamik, dan teori visualisasi pada *dashboard*.

2.1.1. Asumsi Dalam Perkiraan Kebutuhan tenaga Listrik

Merujuk pada pasal 28 dan pasal 29 Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang ketenagalistrikan, PLN selaku Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk kepentingan umum wajib untuk menyediakan tenaga listrik secara terus-menerus dalam jumlah yang cukup dan dengan mutu dan keandalan yang baik. Dengan demikian, PLN harus mampu melayani kebutuhan listrik saat ini maupun di masa yang akan datang agar PLN dapat memenuhi kewajiban yang diminta oleh undang-undang tersebut. Sebagai langkah awal, paling tidak PLN harus dapat memperkirakan kebutuhan listrik untuk 10 tahun ke depan.

Kebutuhan listrik pada suatu daerah didorong oleh tiga faktor utama, yaitu pertumbuhan ekonomi, program elektrifikasi dan pengalihan *captive power* ke jaringan PLN (RUPTL PLN, 2015-2024). Pertumbuhan ekonomi dalam pengertian sederhana adalah proses untuk meningkatkan output barang dan jasa. Proses tersebut memerlukan tenaga listrik sebagai salah satu input penunjangnya, disamping input-input barang dan jasa lainnya. Disamping itu, hasil dari pertumbuhan ekonomi adalah peningkatan pendapatan masyarakat yang mendorong peningkatan permintaan barang-barang listrik seperti televisi, kulkas, radio dan lainnya. Akibatnya permintaan tenaga listrik akan meningkat.

Faktor kedua yaitu program elektrifikasi. Sebagai upaya PLN untuk mendukung program pemerintah dalam meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia maka PLN perlu mengaliri listrik semua masyarakat yang berada dalam wilayah kerjanya. PLN dalam RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) berencana untuk menambah pelanggan baru yang besar, kira-kira 2.1 juta per tahun, sehingga rasio elektrifikasi akan meningkat menjadi 99,4% pada tahun 2024. Penambahan pelanggan baru tersebut tidak hanya mencakup mereka yang berada di dalam wilayah usaha PLN saat ini tetapi juga mencakup mereka yang berada di luar wilayah usaha.

Faktor ketiga adalah yang menjadi pendorong pertumbuhan permintaan tenaga listrik adalah pengalihan *captive power* (penggunaan pembangkit sendiri berbahan bakar minyak) menjadi pelanggan PLN. *Captive power* ini timbul akibat ketidakmampuan PLN memenuhi permintaan pelanggan di suatu daerah, terutama pelanggan industri dan bisnis. Bilamana kemampuan PLN untuk memenuhi daerah tersebut sudah meningkat, maka *captive power* ini dengan berbagai pertimbangannya akan beralih menjadi pelanggan PLN. Pengalihan *captive power* ini juga dipicu oleh semakin tingginya harga BBM untuk membangkitkan tenaga listrik milik konsumen sementara harga jual listrik PLN relative lebih murah.

Penyusunan perkiraan kebutuhan listrik dibuat dengan menggunakan sebuah aplikasi perkiraan beban yang disebut “Simple-E”. Aplikasi ini menggunakan model regresi yang menggunakan data historis dari penjualan energi listrik, daya yang tersambung, jumlah pelanggan, pertumbuhan ekonomi dan populasi untuk membentuk sebuah persamaan yang fit.

2.1.2 Kondisi Ketenagalistrikan di Pulau Madura

Pulau Madura selama ini telah menikmati pasokan listrik yang kontinu, bahkan melebihi kapasitas yang diperlukan. Saat ini beban listrik yang dibutuhkan oleh Madura adalah sekitar 120 mW, sedangkan pasokan melalui aliran jembatan suramadu mencapai 200 mW.

Sejauh ini kondisi kelistrikan di Pulau Madura masih bergantung pada pasokan Jawa melalui dua sirkuit kabel laut tegangan tinggi 150.000 volt berkapasitas 2x100 MW yang terbentang dari Gresik menuju Kamal, Madura. Kabel transmisi ini harus melalui Selat Madura yang sering dilalui oleh Kapal sehingga rentan dengan kerusakan yang disebabkan oleh jangkar. Berdasarkan

data PLN Distribusi Jawa Timur, di Madura terdapat sekitar 395.000 pelanggan listrik yang tersebar di Kab. Bangkalan, Kab. Sampang, Kab. Pamekasan dan Kab. Sumenep dengan pertumbuhan mencapai 2% per tahun.

Meski cadangan pasokan listrik di Jawa, Madura dan Bali, namun dengan pertumbuhan permintaan listrik di kawasan tersebut yang mencapai 7% per tahun dan beban puncak mencapai 22.381 mW, diperlukan tambahan kapasitas pembangkit minimal 1.500 hingga 200 mW per tahun (Kompasiana, 2014).

2.1.3 Rasio Elektrifikasi di Pulau Madura

Madura merupakan daerah dengan rasio elektrifikasi terendah di Pulau Jawa Timur, yaitu sekitar 49,7 % (Bappeda Provinsi Jatim, 2015). Ini disebabkan karena kondisi topografi di Madura, yaitu kecilnya jumlah KK (kepala keluarga) di satu desa sementara jarak antar desa juga cukup jauh.

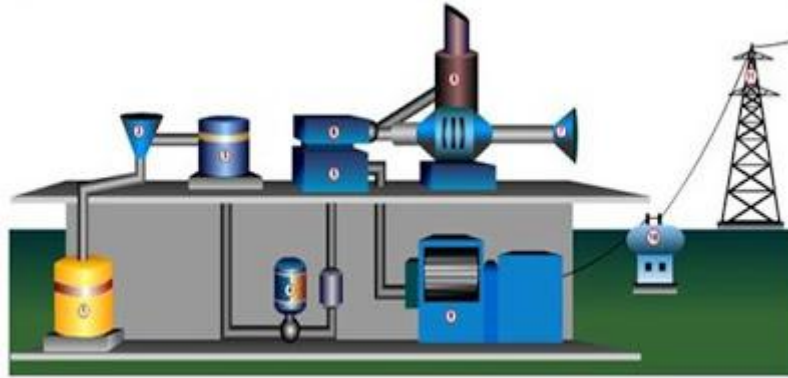
2.1.4 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik

Secara sederhana listrik yang ada dan disalurkan kerumah pelanggan di Indonesia harus melalui tiga tahap yakni listrik diproduksi di pembangkitan yang terdiri dari PLTU (Uap), PLTA (Air), PLTD (Diesel), PLTGU (Gas, Uap) dan PLTP (Panas Bumi) disalurkan melalui Jaringan Transmisi melalui SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) maupun SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) ditambah dengan gardu induk, tower dan transformator dan di distribusikan ke pelanggan baik pelanggan Bisnis, Rumah Tangga, Sosial dan Publik. Melalui Kabel TM 20 KV (Tegangan Menengah), Gardu Distribusi dan Kabel TR (Tegangan Rendah) 220/380 Volt (PT PLN, 2011). Saat ini terdapat 5 jenis bahan bakar utama untuk pembangkitan sistem tenaga listrik skala besar, yaitu minyak, gas, batubara, hidro, nuklir, biomasa dan geothermal (Sutrisna dan Rahardjo, 2009). Hal lain yang perlu dipertimbangkan untuk pengembangan sistem pembangkit yaitu peningkatan efisiensi pembangkitan dan teknologi yang ramah lingkungan.

a. Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Minyak

Pembangkit listrik berbahan bakar minyak pada umumnya diidentikan dengan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). PLTD ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel

sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, terutama untuk daerah baru yang terpencil atau untuk listrik pedesaan dan untuk memasok kebutuhan listrik suatu pabrik.



Gambar 2. 1 Penampang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Dari gambar di atas dapat kita lihat bagian-bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, yaitu:

1. Tangki penyimpanan bahan bakar.
2. Penyaring bahan bakar.
3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara (bahan bakar yang disaring).
4. Pengabut.
5. Mesin diesel.
6. Turbo charger.
7. Penyaring gas pembuangan.
8. Tempat pembuangan gas (bahan bakar yang disaring).
9. Generator.
10. Trafo.
11. Saluran transmisi.

Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari PLTD.

Kelebihan:

- Investasi awal relative lebih rendah
- Efisien pada setiap tingkat beban
- Membutuhkan operator yang sedikit
- Bahan bakar mudah diperoleh

Kekurangan:

- Kapasitas mesin diesel terbatas
- Pemeliharaan harus lebih diperhatikan
- Menimbulkan suara bising
- Membutuhkan waktu pemanasan yang lebih lama pada saat start awal dalam kondisi dingin
- Biaya operasional yang tinggi.

b. Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Gas dan Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) adalah pembangkit siklus ganda (*combined cycle*) yang peralatan utamanya terdiri dari turbin dengan generatornya, HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), BFP (*boiler feed pump*) turbin uap dengan generatornya dan alat pendukung lainnya. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap merupakan gabungan antara Turbin Gas (PLTG) dan Turbin Uap (PLTU) yang disebut Siklus Ganda (*Combined Cycle*). Tujuan utama dari pembangkit kombinasi tersebut yaitu untuk meningkatkan efisiensi termal yang cukup tinggi mencapai 50 %. Hal ini dikarenakan pertumbuhan akan energi listrik yang meningkat pesat. Sedangkan penggunaan turbin gas sebagai pembangkit energi listrik (PLTG) mempunyai efisiensi termal rendah yaitu 30 % dan pembangkit tenaga uap (PLTU) memiliki efisiensi termal 35 %. Sehingga dibutuhkan suatu pembangkit listrik dengan siklus kombinasi yang menghasilkan energi lebih besar. Dalam operasinya, unit turbin gas dapat dioperasikan terlebih dahulu untuk menghasilkan daya listrik sementara gas buangnya berproses untuk menghasilkan uap dalam ketel pemanfaatan gas buang. Setelah uap dalam ketel uap cukup banyak, uap dialirkan ke turbin uap untuk menghasilkan daya listrik.

Bagian-bagian yang penting dari PLTGU adalah:

- Turbin gas
- HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*)
- Turbin uap dan alat-alat bantu lainnya.

c. Pembangkit Listrik Berbahan Bakar Batubara

Penggunaan pembangkit batubara saat ini banyak digunakan karena ketersediaanya yang cukup banyak di alam. Namun demikian, di sisi lain masalah utama pembangkit listrik berbahan bakar batubara merupakan salah satu kontributor pencemaran gas CO₂ yang terbesar. Diperkirakan PLTU-batubara gasifikasi akan menurunkan emisi karbon dioksida (CO₂) dengan 35–40%, menurunkan buangan padat dengan 40–50% dan menghasilkan penghematan biaya daya 10–20%.

d. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) mengalami beberapa perkembangan yang sangat signifikan, terutama perkembangan di pembuatan desain sedemikian hingga PLTN generasi berikutnya menjadi lebih andal, aman, ekonomis serta lebih mudah untuk dioperasikan. Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batan) pernah melakukan survei kemungkinan mendirikan PLTN di Madura beberapa tahun yang lalu. Hasil dari survey tersebut, masyarakat setempat menolak dibangunnya PLTN (Sutrisna dan Raharjo, 2009)

e. Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan (EBT)

Akhir-akhir ini, kebutuhan dunia akan sumber energi terbarukan meningkat dengan laju hampir 25% per tahun (Sutrisna dan Raharjo, 2009). Peningkatan ini didorong oleh: 1) naiknya kebutuhan energi listrik; 2) meningkatnya keinginan menggunakan teknologi yang bersih; 3) naiknya harga bahan bakar fosil; 4) naiknya biaya pembangunan saluran transmisi 5) meningkatnya jaminan pasokan energi. Beberapa sumber energi terbarukan di antaranya yaitu:

• **Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro**

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (< 100 kW) yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih sebagai pembangkit listrik energi terbarukan karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku

cadang. Secara sosial, PLTMH lebih mudah diterima masyarakat luas. PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapat listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada saluran irigasi, sungai atau air terjun (Harun, 2011). Aliran ini selanjutnya akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya akan menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

- **Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan *photovoltaic* dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. *Photovoltaic* mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik. Pemusatan energi surya menggunakan sistem lensa atau cermin dikombinasikan dengan sistem pelacak untuk memfokuskan energi matahari ke satu titik untuk menggerakkan mesin kalor.

Tenaga surya atau solar sel merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang cukup menjanjikan di Indonesia. Energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi, besarnya mencapai 3×10^{24} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini (Litbang ESDM, 2011). Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 Watt/m². Jika sebuah piranti semikonduktor seluas 1 m² memiliki efisiensi 10 % maka modul solar sel ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 Watt. Sel surya adalah dioda semikonduktor yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik dan merupakan komponen utama dalam sistem PLTS (Litbang ESDM, 2011). Selain terdiri atas modul-modul sel surya, komponen lain dalam sistem PLTS adalah *Balance of System* (BOS) berupa inverter dan controller.

PLTS sering dilengkapi dengan baterai sebagai penyimpan daya, sehingga PLTS dapat tetap memasok daya listrik ketika tidak ada cahaya matahari.

Pembangkitan energi listrik pada sel surya terjadi berdasarkan efek fotolistrik, atau disebut juga efek fotovoltaiik, yaitu efek yang terjadi akibat foton dengan panjang gelombang tertentu yang jika energinya lebih besar daripada energi ambang semikonduktor, maka akan diserap oleh elektron sehingga elektron berpindah dari pita valensi (N) menuju pita konduksi (P) dan meninggalkan *hole* pada pita valensi, selanjutnya dua buah muatan, yaitu pasangan elektron-hole, dibangkitkan. Aliran elektron-*hole* yang terjadi apabila dihubungkan ke beban listrik melalui penghantar akan menghasilkan arus listrik.

- **Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang**

Secara umum, potensi energi gelombang laut dapat menghasilkan listrik dapat dibagi menjadi tiga tipe potensi energi yaitu energi pasang surut (*tidal power*), energi gelombang laut (*wave energi*), dan energi panas laut (*ocean thermal energi*). Energi gelombang laut adalah transportasi energi oleh permukaan air laut, yang dapat diekstraksi untuk digunakan sebagai pembangkit listrik (Soleimani, 2015). Tidak seperti pembangkit listrik tenaga surya ataupun tenaga air, energi ini tidak memerlukan lahan yang besar dan lebih banyak tersedia di lokasi seperti pulau-pulau yang jauh yang tidak terhubung ke jaringan nasional. Energi pasang surut merupakan energi yang dihasilkan dari pergerakan air laut akibat perbedaan pasang surut. Indonesia belum pemanfaatan energi gelombang laut sebagai sumber listrik. Memang Indonesia dengan wilayahnya yang luas, memiliki potensi mengembangkan PLTGL. Namun untuk merealisasikan hal tersebut perlu dilakukan penelitian lebih mendalam. Tetapi secara sederhana dapat dilihat bahwa probabilitas menemukan dan memanfaatkan potensi energi gelombang laut dan energi panas laut lebih besar dari energi pasang surut.

Pada dasarnya pergerakan laut yang menghasilkan gelombang laut terjadi akibat dorongan pergerakan angin. Angin timbul akibat perbedaan tekanan pada 2 titik yang diakibatkan oleh respons pemanasan udara oleh matahari

yang berbeda di kedua titik tersebut. Dengan sifat tersebut, energi gelombang laut dapat dikategorikan sebagai energi terbarukan.

Gelombang laut secara ideal dapat dipandang berbentuk gelombang yang memiliki ketinggian puncak maksimum dan lembah minimum. Pada selang waktu tertentu, ketinggian puncak yang dicapai serangkaian gelombang laut berbeda-beda. Ketinggian puncak ini berbeda-beda untuk lokasi yang sama jika diukur pada hari yang berbeda. Meskipun demikian, secara statistik dapat ditentukan ketinggian signifikan gelombang laut pada satu titik lokasi tertentu.

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang fetch pembangkitannya. Fetch adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. Fetch ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak fetch-nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar.

Gelombang yang menjalar dari laut dalam (deep water) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk disebabkan adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

Bila waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut dihitung dari data jumlah gelombang laut yang teramati pada sebuah selang tertentu, dapat diketahui potensi energi gelombang laut di titik lokasi tersebut. Potensi energi gelombang laut pada satu titik pengamatan dalam satuan kWh per meter berbanding lurus dengan setengah dari kuadrat ketinggian signifikan dikali waktu yang diperlukan untuk terjadi sebuah gelombang laut. Berdasarkan perhitungan ini dapat diprediksikan berbagai potensi energi dari gelombang laut di berbagai tempat di dunia. Dari data tersebut,

diketahui bahwa pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kw/m. Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu, sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengonversi energi gelombang laut masih terus dilakukan.

Alternatif teknologi yang diperidiksikan tepat dikembangkan di pesisir pantai selatan Pulau Jawa adalah teknologi Tapered Channel (Tapchan). Prinsip teknologi ini cukup sederhana, gelombang laut yang datang disalurkan memasuki sebuah saluran runcing yang berujung pada sebuah bak penampung yang diletakkan pada sebuah ketinggian tertentu.

Air laut yang berada dalam bak penampung dikembalikan ke laut melalui saluran yang terhubung dengan turbin generator penghasil energi listrik. Adanya bak penampung memungkinkan aliran air penggerak turbin dapat beroperasi terus menerus dengan kondisi gelombang laut yang berubah-ubah. Teknologi ini tetap memerlukan bantuan mekanisme pasang surut dan pilihan topografi garis pantai yang tepat. Teknologi ini telah dikembangkan sejak 1985. Alternatif teknologi pembangkit tenaga gelombang laut yang lebih banyak dikembangkan adalah teknik osilasi kolom air (oscillating water column). Proses pembangkitan tenaga listrik dengan teknologi ini melalui 2 tahapan proses. Gelombang laut yang datang menekan udara pada kolom air yang diteruskan ke kolom atau ruang tertutup yang terhubung dengan turbin generator. Tekanan tersebut menggerakkan turbin generator pembangkit listrik. Sebaliknya, gelombang laut yang meninggalkan kolom air diikuti oleh gerakan udara dalam ruang tertutup yang menggerakkan turbin generator pembangkit listrik. Variasi prinsip teknologi ini dikembangkan di Jepang dengan nama might whale technology. Di Skotlandia, Inggris Raya, telah dibangun pembangkit tenaga gelombang laut yang menggunakan teknologi ini. Pembangkit yang selesai dibangun pada 2000 ini dilengkapi listrik

sampai 500 kW. Selain itu, di Denmark dikembangkan pula teknologi pembangkit tenaga gelombang laut yang disebut wave dragon, prinsip kerjanya mirip dengan tapered channel. Perbedaannya pada wave dragon, saluran air dan turbin generator diletakkan di tengah bak penampung sehingga memungkinkan pembangkit dipasang tidak di pantai. Pembangkit-pembangkit tersebut kemudian dihubungkan dengan jaringan transmisi bawah laut ke konsumen. Hal ini menyebabkan biaya instansi dan perawatan pembangkit ini mahal. Meskipun demikian pembangkit ini tidak menyebabkan polusi dan tidak memerlukan biaya bahan bakar karena sumber penggeraknya energi alam yang bersifat terbarukan

- **Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut Air Laut**

Energi pasang surut adalah salah satu energi laut yang paling mudah tersedia (Ketabdari, 2015). Energi ini telah digunakan mulai abad ke-10 untuk memindahkan pabrik pasang surut di Inggris, Perancis dan Negara lainnya. Energi pasang surut merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang relatif lebih mudah diprediksi jumlahnya dibandingkan energi angin dan energi surya. Pemanfaatannya saat ini belum luas karena tingginya biaya awal dan terbatasnya lokasi yang memiliki pasang surut yang mencukupi. Penelitian dan pengembangan lebih lanjut terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan batas kritis energi yang dihasilkannya sehingga didapatkan berbagai metode untuk mengekstraksi energi jenis ini. Menurut Wibisono (2005), sebenarnya hanya ada tiga tipe dasar pasang-surut yang didasarkan pada periode dan keteraturannya, yaitu sebagai berikut:

1. Pasang-surut tipe harian tunggal (diurnal type): yakni bila dalam waktu 24 jam terdapat 1 kali pasang dan 1 kali surut.
2. Pasang-surut tipe tengah harian/ harian ganda (semi diurnal type): yakni bila dalam waktu 24 jam terdapat 2 kali pasang dan 2 kali surut.
3. Pasang-surut tipe campuran (mixed tides): yakni bila dalam waktu 24 jam terdapat bentuk campuran yang condong ke tipe harian tunggal atau condong ke tipe harian ganda.

Tipe pasang-surut ini penting diketahui untuk studi lingkungan, mengingat bila di suatu lokasi dengan tipe pasang-surut harian tunggal

atau campuran condong harian tunggal terjadi pencemaran, maka dalam waktu kurang dari 24 jam, pencemar diharapkan akan tersapu bersih dari lokasi. Namun pencemar akan pindah ke lokasi lain, bila tidak segera dilakukan clean up. Berbeda dengan lokasi dengan tipe harian ganda, atau tipe campuran condong harian ganda, maka pencemar tidak akan segera tergelontor keluar. Dalam sebulan, variasi harian dari rentang pasang-surut berubah secara sistematis terhadap siklus bulan. Rentang pasang-surut juga bergantung pada bentuk perairan dan konfigurasi lantai samudera. Pasang-surut (pasut) di berbagai lokasi mempunyai ciri yang berbeda karena dipengaruhi oleh topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk dan sebagainya

Pembangkit listrik tenaga pasang surut pada dasarnya ada dua metode untuk memanfaatkan energi pasang surut, yaitu Dam Pasang Surut (Tidal Barrages) dan Turbin Lepas Pantai (Offshore Turbines). Dam Pasang Surut (Tidal Barrages) Pembangkit Listrik Tenaga Pasang Surut ini merupakan pembangkit yang menggunakan metode pembuatan dam pada hulu sungai yang berbuara ke laut yang memanfaatkan pasang surut air laut sehingga dapat menggerakkan turbin dan generator. Turbin Lepas Pantai (Offshore Turbines). Pilihan lainnya ialah menggunakan turbin lepas pantai yang lebih menyerupai pembangkit listrik tenaga angin versi bawah laut. Keunggulannya dibandingkan metode pertama yaitu: lebih murah biaya instalasinya, dampak lingkungan yang relatif lebih kecil daripada pembangunan dam, dan persyaratan lokasinya pun lebih mudah sehingga dapat dipasang di lebih banyak tempat.

Syarat-syarat untuk memilih lokasi pembuatan pembangkit tenaga pasang surut adalah:

1. Tinggi air pasang pada lokasi harus memadai sepanjang tahun.
2. Kuala atau estuarium harus mempunyai geomorfologi yang dengan tanggul yang relatif pendek dapat dikembangkan sebagai kolam penampung air.
3. Lokasi yang diusulkan tersebut tidak mempunyai endapan yang luar biasa jika membawa endapan lumpur ke dalam laut diperlukan

usaha untuk mengangkat endapan ke atas suatu kolam penampungan.

4. Lokasi yang dipilih harus bebas dari serangan ombak besar.
5. Lokasi yang dipilih harus sedemikian rupa sehingga tidak timbul masalah akibat pembendungan kuala, seperti perubahan pola air pasang surut.

Adapun kelebihan dan kekurangan dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga pasang surut adalah sebagai berikut:

Kelebihan:

1. Setelah dibangun, energi pasang surut dapat diperoleh secara gratis
2. Tidak menghasilkan gas rumah kaca atau limbah lainnya
3. Tidak membutuhkan bahan bakar
4. Biaya operasi rendah
5. Produksi listrik stabil
6. Pasang surut air mudah diprediksi
7. Turbin lepas pantai memiliki biaya instalasi yang rendah dan tidak menimbulkan dampak lingkungan yang besar

Kekurangan:

1. Hanya dapat mensuplai energi kurang lebih 10 jam setiap harinya, ketika ombak bergerak masuk atau keluar.
2. Sebuah dam yang menutupi muara sungai memiliki biaya pembangunan yang sangat mahal dan meliputi area yang sangat luas sehingga merubah ekosistem lingkungan baik ke arah hulu sungai maupun hilir sampai berpuluh-puluh kilometer

2.1.5 Faktor-Faktor dalam Pembangkitan

Menurut Marsudi (2011), ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam sistem pembangkit tenaga listrik. Diantaranya faktor beban, faktor kapasitas, faktor utilisasi, *Forced Outage Rate* (FOR) dan Neraca daya.

- Faktor Beban

Faktor beban adalah perbandingan antara besarnya beban rata-rata untuk selang waktu (misal satu hari atau satu bulan) terhadap beban puncak tertinggi dalam selang waktu yang sama. Sedangkan beban rata-rata untuk

suatu selang waktu adalah jumlah produksi kWh dalam selang waktu tersebut dibagi dengan jumlah jam dari selang waktu tersebut. Dari uraian di atas didapat:

$$\text{Faktor Beban} = \text{Beban Rata-Rata} / \text{Beban Puncak}$$

- **Faktor Kapasitas**

Faktor kapasitas sebuah unit pembangkit atau pusat listrik menggambarkan seberapa besar sebuah pembangkit dimanfaatkan. Faktor kapasitas tahunan (8760 jam) didefinisikan sebagai:

$$\text{Faktor Kapasitas} = \text{Produksi Satu Tahun} / (\text{Daya Terpasang} * 8760)$$

- **Faktor Utilisasi**

Faktor utilisasi sejatinya serupa dengan faktor kapasitas, tetapi di sini menyangkut daya. Faktor utilisasi sebuah alat didefinisikan sebagai:

$$\text{Faktor Utilisasi} = \text{Beban Alat Tertinggi} / \text{Kemampuan Alat}$$

- **Forced Outage Rate**

FOR adalah sebuah faktor yang menggambarkan sering tidaknya sebuah pembangkit mengalami gangguan. FOR didefinisikan sebagai:

$$FOR = \frac{\text{Jumlah Jam Gangguan Unit}}{\text{Jumlah Jam Operasi Unit} + \text{Jumlah Jam Gangguan Unit}}$$

- **Neraca Daya**

Neraca daya perlu dibuat karena neraca daya merupakan dasar untuk menyusun anggaran biaya bahan bakar yang merupakan unsur biaya yang terbesar dan biaya operasi sistem tenaga listrik

2.1.6 Analisis Teknis Pembangkit Listrik

Dalam usaha untuk menjaga kontinuitas pelayanan tenaga listrik dan menjaga agar distribusi tenaga listrik tetap berlangsung, maka diperlukan analisis dari segi teknis. Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya

system tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya relay pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Hal ini untuk mengamankan peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut untuk dari kerusakan. Sehingga fungsi dari peralatan pengaman adalah untuk mencegah kerusakan peralatan dan tidak meniadakan gangguan.

Sumber gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam maupun luar sistem. Gangguan dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan lebih atau arus lebih
2. Pemasangan yang kurang tepat
3. Usia pemakaian komponen atau peralatan

Sedangkan gangguan dari luar sistem antara lain:

- a. Dahan / ranting pepohonan yang mengenai STUM
- b. Sambaran petir
- c. Cuaca
- d. Kerusakan pada peralatan
- e. Binatang / layang-layang
- f. Penggalian tanah
- g. Gagalnya isolasi karena kenaikan tempatur
- h. Kerusakan sambungan.

Berdasarkan sifatnya gangguan pada sistem distribusi dibagi menjadi:

a. Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (autorecloser) maupun secara manual oleh operator. Bila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan sendirinya atau dengan bekerjanya alat pengaman (recloser) dapat menjadi gangguan tetap dan dapat menyebabkan pemutusan tetap. Bila gangguan sementara terjadi terjadi berulang-ulang dapat menyebabkan gangguan permanen, dapat menyebabkan kerusakan peralatan.

b. Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskanya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai

dengan jatuhnya (trip) kembali pemutus daya setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan. Untuk mengatasi gangguan-gangguan sebuah peralatan harus dilengkapi dengan system pengaman relay, dimana sistem pengaman ini diharapkan dapat mendeteksi adanya gangguan sesuai dengan fungsi dan daerah pengamannya

SCADA (*supervisory control and data acquisition*) adalah sistem yang dapat memonitor dan mengontrol suatu peralatan atau sistem dari jarak jauh secara *real time*. SCADA berfungsi mulai dari pengambilan data pada Gardu Induk atau Gardu Distribusi, pengolahan informasi yang diterima, sampai reaksi yang ditimbulkan dari hasil pengolahan informasi. Secara umum fungsi dari sistem SCADA adalah:

- Penyampaian data
- Proses kegiatan dan monitoring
- Fungsi control
- Perhitungan dan pelaporan.

Seluruh fungsi sistem SCADA yang telah dijelaskan, dapat dikelompokkan menjadi tiga:

- **Telemetering**

Adalah proses pengambilan besaran ukur tenaga listrik yang ada di Gardu atau Gardu Distribusi yang dapat dimonitor di *Control Center*.

- **Telesignaling**

Status dari peralatan tenaga listrik, sinyal alarm dan sinyal lainnya yang ditampilkan disebut status indikasi. Status indikasi terhubung ke modul *digital input* dari RTU. Status indikasi terdiri dari indikasi tunggal (*single*) dan indikasi ganda (*double*). Indikasi ganda terpasang pada peralatan yang mempunyai dua keadaan, dimana satu keadaan menunjukkan kontak terbuka (*open*) dan keadaan lain menunjukkan kontak tertutup (*close*), seperti pada PMT (pemutus tenaga). Indikasi tunggal dipergunakan untuk menyampaikan data alarm dari peralatan tenaga listrik. Status indikasi dikirim ke pusat pengatur beban atau *Control Center* bila terjadi perubahan status dari peralatan.

- **Telecontrol**

Fungsi kontrol sistem tenaga listrik terbagi menjadi 4 bagian, yaitu kontrol

individu, kontrol perintah untuk pengaturan peralatan, pola kontrol otomatis dan pola kontrol berurutan. Kontrol individu merupakan perintah langsung peralatan sistem tenaga listrik, seperti perintah buka/tutup PMT atau PMS, dan perintah start/stop unit pembangkit. Sedangkan kontrol perintah untuk pengaturan peralatan merupakan fungsi kontrol yang berhubungan dengan pusat pembangkit untuk menaikkan atau menurunkan daya pembangkitan. Kontrol otomatis adalah perintah kontrol dari substation automation misalnya untuk load shading. Kontrol berurutan adalah kontrol otomatis dengan menggunakan aplikasi distribusi Managemen System (DMS)

Pengendalian berbasis SCADA bertujuan untuk membantu operator mendapatkan sistem pengoperasian optimum dan pengendalian sistem tenaga listrik. Dalam mengelola sistem jaringan distribusi lamanya waktu pemulihan gangguan merupakan kriteria penting yang digunakan untuk menilai kinerja pada sistem pengoperasian jaringan dan pelayanan gangguan. Untuk hal itu, maka sistem pengendali dilengkapi dengan seperangkat SCADA. Perangkat ini digunakan sebagai sarana untuk memantau dan mengendalikan sistem tenaga secara terpusat dari pusat-pusat pengendali.

Fungsi sistem SCADA bagi pengatur jaringan (*Dispatcher*) yaitu untuk mengetahui: Buka/tutup switch pada jaringan yang diawasi.

- Besaran tegangan, arus, dan frekuensi di setiap penyulang pada jaringan.
- Indikasi alarm, seperti *Ground Fault*, *Over Current*, *Suplly Fault*, *Over/Under Voltage*.
- Melakukan Remote Control buka/tutup switch.

Sistem SCADA memiliki 3 buah komponen utama, yaitu:

a. Pusat Kontrol

Pusat kontrol merupakan pusat dari sistem SCADA, karena semua fungsi pengawasan, pengendalian terhadap data dan sumber data di RTU dilakukan dari sini. Pusat kontrol terdiri dari perangkat keras yang berupa komputer digital (computer, printer, Monitor Peta Dinding Besar dan Card *Digital to Analog*) serta perangkat lunak yang berfungsi untuk melakukan komunikasi dengan RTU

b. RTU yang ada di lokasi gardu

Remote terminal unit (RTU) adalah salah satu komponen peralatan

SCADA yang didesain untuk memonitor aktivitas substation pada suatu sistem tenaga listrik. Informasi dasar tentang sistem tenaga listrik diperoleh dari pemantauan status peralatan dan pengukuran besaran listrik pada gardu induk maupun pembangkit listrik. Informasi tersebut kemudian diproses oleh RTU untuk kemudian dikirim ke Control Center. Sebaliknya, Control Center pun dapat mengirim perintah ke RTU. Proses ini, sebagaimana disinggung pada bagian sebelumnya, disebut teleinformasi (terdiri dari telesignal, telecontrol dan telemetering).

c. Jalur komunikasi yang menghubungkan Pusat Kontrol dan RTU

Agar supaya Master Station dapat berhubungan dengan Remote Terminal unit maka diperlukan sarana telekomunikasi data atau sering disebut data link, pada SCADA Distribusi pada umumnya terdiri dari:

- **Kabel Pilot**

Kabel Pilot adalah kabel tembaga yang sering disebut Areal Kabel yang dapat berupa kabel udara maupun kabel tanah. Dalam satu kabel ini terdiri dari minimal 10 pair sampai ratusan pair. Jarak kabel pilot paling panjang dapat dipergunakan tanpa tambahan penguatan di tengah adalah 10 Km dengan penampang kabel 0,6 mm. Jika lebih dari 10 Km maka diperlukan penguat atau disebut amplifier.

- **Radiodata**

Pengiriman data dari RTU ke Master station dapat pula melalui radio data. Radio data ini dapat beroperasi pada frekuensi VHF atau UHF. Untuk kecepatan pengiriman data yang rendah biasanya dipakai frekuensi VHF sedangkan untuk pengirimannya data dengan kecepatan tinggi dipergunakan frekuensi UHF. Untuk penggunaan frekuensi UHF sangat dipengaruhi dengan propagasi dan kondisi LOS bidang pancaran sehingga untuk daerah yang countour tanahnya berbukit bukit diperlukan beberapa repeater.

- **PLC**

Selain radio dan kabel pilot sarana telekomunikasi data yang lain adalah PLC (Power line carrier). PLC hanya dipasang di Gardu induk. Jadi antar gardu induk komunikasi data bisa menggunakan PLC. Pada SCADA Distribusi biasanya dipergunakan sarana FO atau

Kabel pilot dari DCC ke GI kemudian dari GI ke GI lain bisa menggunakan PLC.

- **Fiber Optic**

Sarana komunikasi yang paling handal adalah fiber optic. Dengan Fiber optic kecepatan transmisi data bisa sangat tinggi sehingga banyak

2.1.7 Analisis Ekonomis Pembangkit Listrik

Perlu adanya analisa terlebih dahulu sebelum merumuskan kebijakan pembangunan dan pengembangan pembangkit tenaga listrik. Dari sisi ekonomi, analisa tersebut meliputi Net Present Value (NPV), Return of Investment (ROI), Benefit-Cost Ratio (BCR) dan Payback Period (Prasetyo, 2015).

- **Net Present Value (NPV)**

NPV adalah nilai sekarang dari keseluruhan *Discounted Cash Flow* atau gambaran ongkos total proyek dilihat dari nilai pada awal proyek. Secara matematis rumus NPV dapat ditulis sebagai berikut

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - COF$$

Dimana:

k = *Discount Rate* yang digunakan

COF = *Cash Out Flow* / Investasi

CIF_t = *Cash out Flow* pada periode t

N = periode terakhir *Cash Flow* yang diharapkan

- **Return of Investment**

ROI adalah laba atas investasi. ROI adalah rasio uang yang diperoleh atau hilang pada suatu investasi, relative terhadap jumlah uang yang diinvestasikan. ROI dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$ROI = \frac{\sum_t Bennefit_t - Investment\ Cost}{Investment\ Cost}$$
$$Bennefit_t = CIF_t - COF_t \dots\dots\dots$$

Dimana:

$\sum_t^n \text{Benefit}_t$ = jumlah keuntungan sampai tahun ke - t

Investment Cost = Biaya investasi

CIF_t = pemasukkan tahun ke - t

COF_t = pengeluaran tahun ke- t

- **Benefit-Cost Ration**

BCR adalah rasio perbandingan antara pemasukkan total sepanjang waktu operasi pembangkitan dengan biaya investasi awal. Rumusnya adalah:

$$\text{BCR}_t = \frac{\sum_1^n \text{CIF}_t}{\text{Investment Cost}}$$

- **Payback Period**

PP adalah lama waktu yang diperlukan untuk mengembalikan dana investasi dan dirumuskan dalam persamaan:

$$\text{PP} = \frac{\text{Investment Cost}}{\text{Annual CIF}}$$

Annual CIF = pemasukkan per tahun

2.1.8 Sistem Penunjang Keputusan

Decision Support System atau yang lebih dikenal dengan Sistem Penunjang Keputusan (SPK), menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

- Raymond McLeod, Sistem Penunjang Keputusan adalah sistem penghasil informasi spesifik yang ditujukan untuk memecahkan suatu masalah tertentu yang harus dipecahkan oleh manajer pada berbagai tingkatan (McLeod, Jr. 2000).
- Little dalam Averweg (2009), Sekumpulan prosedur yang berbasis model untuk pengolahan data dan penilaian yang membantu manajer dalam mengambil keputusan.

- Turban dan Aronson, Sistem Penunjang Keputusan dapat digambarkan sebagai sistem yang berkemampuan mendukung analisis ad hoc data, dan pemodelan keputusan, berorientasi keputusan, orientasi perencanaan masa depan, dan digunakan pada saat – saat yang tidak biasa (Turban and Aronson 2001).
- Dadan Umar Daihani, Sistem Penunjang Keputusan adalah suatu kumpulan prosedur pemrosesan data dan informasi yang berorientasi pada penggunaan model untuk menghasilkan berbagai jawaban yang dapat membantu manajemen dalam mengambil keputusan (Daihani, 2001).

Scott Morton mendefinisikan DSS sebagai sistem computer interaktif, yang membantu para pengambil keputusan untuk menggunakan data dan berbagai model untuk memecahkan masalah-masalah tidak terstruktur. DSS merupakan sebuah istilah umum untuk menggambarkan semua sistem terkomputerisasi yang mendukung pengambilan keputusan pada suatu organisasi. Fase-fase pada pengambilan keputusan yaitu intelegensi, desain dan kriteria. Pada fase intelegensi merupakan proses identifikasi masalah. Pada fase desain merupakan tahap konstruksi model yang merepresentasikan sebuah sistem. Model tersebut kemudian divalidasi. Pada fase desain ini juga diidentifikasi solusi alternatif. Fase berikutnya adalah fase pilihan meliputi pilihan terhadap solusi yang diusulkan untuk model. Setelah fase solusi dirasa memungkinkan / valid maka selanjutnya adalah fase implementasi.

Salah satu tipe sistem pendukung keputusan adalah *Model-Driven Decision Support System (MD-DSS)*. Tipe ini lebih menekankan akses dan manipulasi model, misalnya statistik, keuangan, optimasi atau model dan simulasi (Power & Sharda, 2007). Secara umum MD-DSS digunakan untuk menangani permasalahan di bidang keuangan, simulasi, optimasi atau multi kriteria model yang kompleks untuk memberikan dukungan keputusan. MD-DSS menggunakan data dan parameter yang disajikan oleh pemberi keputusan untuk membantu para pengambil keputusan dalam menganalisa situasi. MD-DSS menyediakan fasilitas bagi para pembuat keputusan dengan model dan kemampuan analisis yang dapat digunakan selama proses pengambilan keputusan. Jangkauan dan lingkup dari MD-DSS ini juga sangat besar.

Banyak sistem pendukung keputusan yang menggunakan model. Misalnya sistem pendukung keputusan untuk meramalkan penjualan menggunakan *moving average* atau model ekonometrik, Sistem pendukung keputusan untuk keuangan dan akuntansi yang menghasilkan perkiraan laporan untung dan rugi, neraca atau ukuran hasil lainnya. MD-DSS juga dapat membantu dalam meramalkan permintaan suatu produk, membantu dalam penjadwalan karyawan, mengembangkan laporan performa keuangan. Semua contoh tadi adalah sistem *Model-Driven Decision Support System*.

Dalam pengembangan *Model-Driven Decision Support System*, perlu diperhatikan beberapa kriteria. Yaitu:

- **Metodologi Simulasi**

Dalam simulasi melibatkan model sistem nyata dan melakukan percobaan yang berulang-ulang. Metodologi ini terdiri dari sejumlah langkah, berikut adalah pembahasannya:

1. Pendefinisian masalah: masalah diperiksa dan ditetapkan. Analis harus menentukan mengapa simulasi perlu dilakukan. Batasan sistem dan aspek lain-lain juga perlu dinyatakan.
2. Membangun model simulasi: langkah ini melibatkan pengumpulan data yang diperlukan. Dalam banyak kasus, flowchart digunakan untuk menggambarkan proses.
3. Pengujian dan Validasi Model: model dan simulasi harus mengacu pada sistem secara akurat
4. Desain dan Pengujian: setelah model divalidasi, maka percobaan pun dilakukan. Dalam langkah ini, analis menentukan berapa lama untuk menjalankan simulasi. Langkah ini bertujuan untuk memaksimalkan keakuratan model dan meminimalkan biaya pengembangan model
5. Melakukan percobaan: melibatkan isu-isu seperti bagaimana untuk menghasilkan angka yang acak, jumlah uji coba atau periode waktu untuk percobaan dan presentase hasilnya
6. Evaluasi: tahap ini manager melakukan evaluasi dari hasil percobaan.

- **Modelling Decision Situation**

Model matematis dan analitis merupakan komponen yang dominan dalam metode MD-DSS. Ketika model diperlukan untuk memahami situasi, maka

MD-DSS dapat memberikan representasi yang diperlukan oleh para pembuat keputusan / manager. Para analis DSS dapat membuat variasi yang beragam dari MD-DSS. Jadi, membangun sebuah MD-DSS melibatkan sejumlah desain dan pertanyaan penting.

- **Keuntungan dan Kerugian dari Simulasi**

- Teori simulasi relative lebih mudah dipahami.
- Simulasi memungkinkan para pemangku jabatan organisasi untuk bertanya “Apa-Jika”.
- Para analis DSS akan bekerja secara langsung dengan manajer karena simulasi yang akurat memerlukan pengetahuan yang mendalam mengenai masalah tersebut.
- Model simulasi ini dibangun untuk memecahkan satu permasalahan tertentu.
- Simulasi dapat menangani variasi yang sangat luas dalam jenis masalah seperti persediaan dan staf, serta keputusan perencanaan jangka panjang
- Manajer dapat menggunakan simulasi untuk bereksperimen dengan variable yang berbeda untuk menentukan mana yang penting dan mana yang terbaik.
- Banyak paket software yang sudah mendukung dalam pengerjaan simulasi. Seperti Java, C++ dll.

Simulasi memungkinkan untuk menangani kompleksitas sebuah permasalahan. Karena sifat dari simulasi, waktu kompresi yang besar juga dapat tercapai.

Namun ada tiga kelemahan yang dimiliki dari simulasi, yaitu:

- Tidak menjamin solusi yang terbaik atau optimal
- Proses membangun model simulasi sering terlambat dan biaya mahal
- Solusi dari studi simulasi tertentu biasanya tidak dapat dialihkan ke permasalahan yang lain.

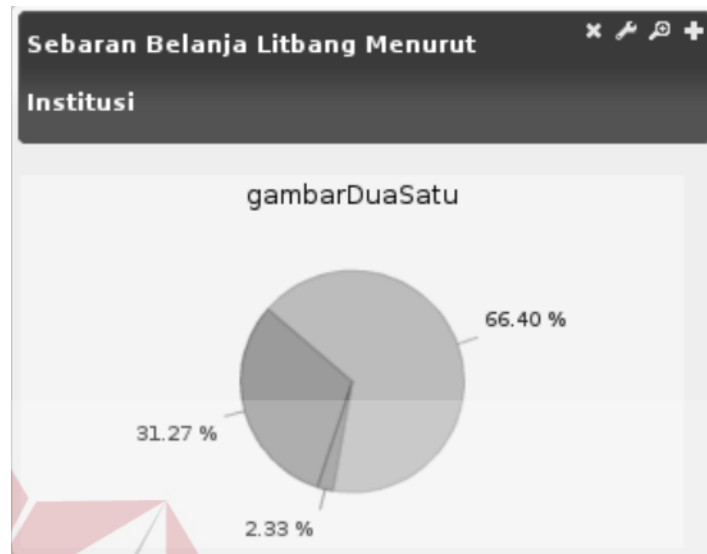
2.1.9 Dashboard System

Dashboard adalah alat diagnostik yang dirancang untuk menampilkan kinerja perusahaan (statistik perusahaan) dalam bentuk gambar / visualisasi yang dipersiapkan untuk para pemimpin yang ingin melihat hasil pengolahan data

dengan cepat (Meyliana, 2014). *Dashboard system* adalah suatu model antar muka sistem informasi yang dianalogikan seperti *dashboard* sebuah mobil yang mudah untuk dipelajari (Romdhoni, 2012). Sistem *dashboard* menggunakan *portlet* untuk menampilkan data dan informasi yang akan disajikan. Dalam hal ini informasi disajikan dalam bentuk grafik. Gambar berikut adalah salah satu *portlet* yang dihasilkan melalui data **.json**. Setiap grafik di dalam *portlet* terdapat ikon-ikon yang mendukung fungsi-fungsi seperti modifikasi, interaktif, *resize*, *save*, *reusable* (Asmara & Achelia, 2009).

Dashboard dapat dipecah sesuai dengan perannya, yaitu dari sisi **strategis, analitis, operasional atau informasional** (Wikipedia, 2015).

- a. **Dashboard Strategic** membantu para manajer di level manapun dalam sebuah organisasi untuk dan memberikan gambaran singkat bagi para pengambil keputusan untuk peluang bisnis. *Dashboard* tipe ini berfokus pada pengukuran kinerja dan peramalan.
- b. **Dashboard analytical** lebih banyak tentang konteks, perbandingan dan sejarah bersamaan dengan evaluasi kinerja. *Dashboard* tipe ini biasanya mendukung interaksi dengan data yang mendalam pada rincian.
- c. **Dashboard for operation** biasanya hanya terfokus pada 1 perspektif saja. Informasi yang ditampilkan pun lebih cenderung menyoroti kegiatan operasional perusahaan dalam satu bidang. Tujuan dari dashboard operasional ini umumnya hanya untuk membuat peningkatan yang hanya bertahan untuk sementara saja dan seringnya memancing persaingan untuk membuktikan kelebihan dari setiap aspek yang ada di dalam dashboard tersebut. Misalnya, dashboard operasional mengenai kinerja karyawan (Kompasiana, 2010).



Gambar 2. 2 Contoh Gambar Dashboard Sederhana

2.2.1. Sistem Dinamik

Sistem dinamik merupakan pendekatan dengan bantuan komputer untuk menganalisa dan mendesain suatu kebijakan. Secara harfiah setiap sistem dinamik ditandai dengan ketergantungan, interaksi mutualisme, umpan balik informasi, dan perputaran sebab akibat. (Richardson, 2013)

Pendekatan sistem dinamik (adaptasi dari Richardson 2013) dimulai dari pendefinisian masalah secara dinamis dari waktu ke waktu, dilanjutkan dengan tahap pemetaan dan pemodelan variabel-variabel signifikan yang mempengaruhi. Setelah variabel-variabel dirasa cukup, tahap selanjutnya yaitu pengembangan stock and flow diagram. Pada tahap ini proses yang dilakukan yaitu identifikasi arus masuk atau akumulasi (level) dalam sistem dan arus keluar (rate). Tahap selanjutnya yaitu pengembangan model dan disimulasikan dengan bantuan komputer lalu mengumpulkan pemahaman dan kebijakan yang berlaku dari model yang dihasilkan.

Langkah-langkah yang terlibat dalam simulasi, (Sterman, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, 2000):

- 1) Pendefinisian masalah yang meliputi:
 - Penentuan batasan masalah
 - Identifikasi variabel yang signifikan
- 2) Formulasi model: merumuskan hubungan antar komponen-komponen model.

- 3) Pengambilan data yang diperlukan sesuai dengan tujuan pembuatan model.
- 4) Pengembangan model.
- 5) Verifikasi model terhadap error.
- 6) Validasi model, apakah model yang dibuat sudah sesuai dengan sistem nyata. Dua cara validasi yaitu (Barlas, 1996):

- Perbandingan Rata-Rata (Mean Comparison)

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}}$$

$$\bar{S} = \text{nilai_rata-rata_hasil_simulasi}$$

$$\bar{A} = \text{nilai_rata-rata_data}$$

Model dianggap valid bila $E1 \leq 5\%$

- Perbandingan Variasi Amplitudo (Variance Comparison)

$$E2 = \frac{|Ss - Sa|}{Sa}$$

Ss = standard deviasi model

Sa = standard deviasi data

Model dianggap valid bila $E2 \leq 30\%$

- 7) Setelah model valid maka langkah selanjutnya adalah membuat beberapa skenario (eksperimen) untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan. Jenis-jenis skenario:
 - Skenario parameter dilakukan dengan jalan mengubah nilai parameter model. Relatif mudah dilakukan karena hanya melakukan perubahan terhadap nilai parameter model namun dampaknya hanya terhadap output model.
 - Skenario struktur dilakukan dengan jalan mengubah struktur model. Skenario jenis ini memerlukan pengetahuan yang cukup tentang sistem agar struktur baru yang diusulkan/dieksperimenkan dapat memperbaiki kinerja sistem.
- 8) Interpretasi model. Proses ini merupakan penarikan kesimpulan dari hasil output model simulasi.
- 9) Implementasi, penerapan model pada sistem.

10) Dokumentasi, merupakan proses penyimpanan hasil output model.

2.2. Kajian Pustaka

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian yang akan dikerjakan dan kontribusi penelitian yang diharapkan. Penelitian-penelitian yang akan dibahas merupakan penelitian yang menguraikan tentang faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik untuk Pulau Madura, gambaran model dinamik terkait pembangkit listrik serta beberapa penelitian yang menggunakan sistem dinamik

2.2.1 Penelitian Terkait

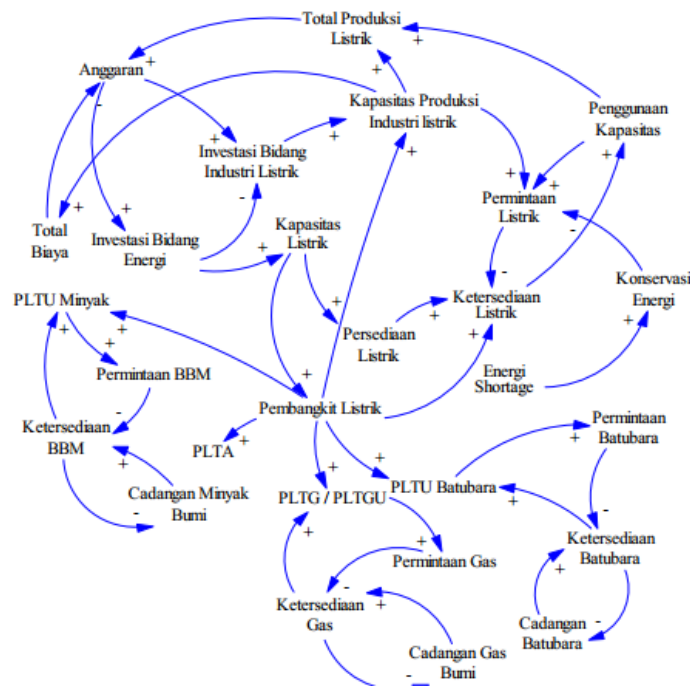
Menurut penelitian Irawan (2010), penyediaan energi listrik oleh PT PLN sampai saat ini belum dapat memenuhi kebutuhan listrik secara keseluruhan, karena kondisi geografis Negara Indonesia yang terdiri atas banyak pulau sehingga instalasi dan perawatan dengan jaringan transmisi membutuhkan biaya besar dan sulit. Ketersediaan energi listrik berperan besar dalam masalah pergerakan roda ekonomi masyarakat. Kelangkaan pasokan energi listrik akan memaksa PT PLN untuk sering melakukan pemadaman apabila produksi listrik tidak mampu memenuhi kebutuhan energi listrik (Axella, 2012).

Masih dalam penelitian Axella (2012), ada beberapa variable yang dapat didefinisikan dalam merencanakan sistem pembangkit, diantaranya:

- Kapasitas pembangkit, adalah pembangkit listrik yang ada di Jawa Timur terdiri dari beberapa jenis pembangkit, tergantung dari penggunaan bahan-bahan primer untuk pembangkit. Total dari energi listrik bergantung pada kapasitas pembangkit listrik.
- Kapasitas listrik konsumen adalah besarnya kapasitas listrik yang terpasang pada konsumen setiap tahunnya.
- Permintaan energi listrik adalah total permintaan energi listrik selama satu tahun pada satu wilayah dalam satuan KWH (Kilowatt per Hours)
- Harga Bahan Bakar, setiap pembangkit menggunakan bahan bakar sesuai dengan jenis pembangkitnya.
- Faktor beban, adalah perbandingan antara besarnya beban rata-rata untuk selang waktu terhadap beban puncak tertinggi dengan selang waktu yang sama.

- FOR (Forced Outage Rate), adalah sebuah faktor yang menggambarkan sering tidaknya sebuah unit pembangkit mengalami gangguan.
- Faktor kapasitas, adalah sebuah unit pembangkit menggambarkan seberapa besar sebuah unit pembangkit dimanfaatkan

Berdasarkan variable yang sudah disebutkan diatas, maka dapat dibuat modelnya dengan menggunakan software *vensim* untuk mengetahui hubungan antar variable dan pola perilaku yang ada pada simulasi yang menentukan kesesuaian model perilaku di kehidupan. Pengembangan model sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Causal Loop Diagram Sistem Pembangkit Listrik untuk Sektor Industri (Axella, 2012)

Pada penelitian sebelumnya terkait sistem dinamik dan pembangkit listrik menurut Saptari (2014), dengan memanfaatkan sistem dinamik dapat disimpulkan tingkatan kepuasan pelanggan terhadap energi listrik. Berikut adalah contoh pola perilaku dan hubungan antar variable yang ada pada simulasi terkait tingkat kepuasan pelanggan terhadap energi listrik:



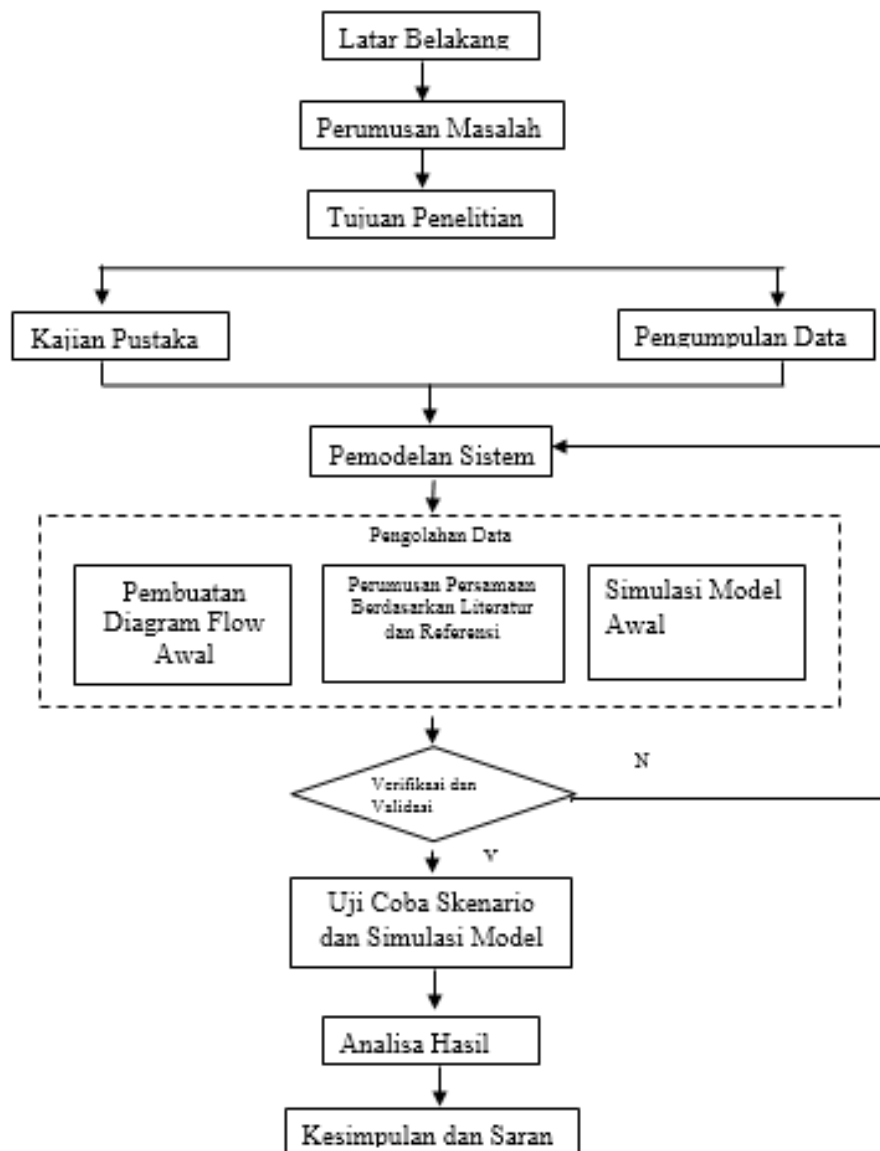
Gambar 2. 4 Causal Loop Diagram Tingkat Kepuasan Pelanggan Terhadap Energi Listrik (Saptari,2014)

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan metodologi penelitian yakni tentang tahapan yang akan dilakukan, metodologi penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. 1 Tahapan Metodologi Penelitian

3.1. Pengumpulan Data

Pada tahapan pengamatan dilakukan pada PT. PLN Area Distribusi Pamekasan serta wawancara pada salah satu manager area yang menjabat pada PT. PLN Area Distribusi Pamekasan. Dari pengamatan lapangan diharapkan mendapatkan informasi variabel-variabel yang terkait sistem pembangkit tenaga listrik, dimana hasil tersebut akan digunakan dalam pembuatan model awal yang nantinya akan disimulasikan. Data yang diperoleh yang nantinya digunakan dalam penelitian didapatkan dengan beberapa cara, diantaranya pengamatan langsung, survey, wawancara atau pendapat langsung dari manager PT. PLN Area Distribusi Pamekasan serta data dari PT. PLN dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

3.2. Tahapan Penelitian

Pada tahapan ini dilakukan melalui studi literatur pada buku teks, jurnal, artikel ilmiah yang berkaitan dengan penelitian sistem pembangkit listrik, kajian pustaka ini dijadikan sebagai landasan teori ketika melakukan penelitian. Kajian pustaka yang dilakukan meliputi jenis-jenis pembangkit listrik, analisa teknis / non teknis dalam perencanaan pembangunan sistem pembangkit listrik dan kriteria pembangkit tenaga listrik yang cocok untuk daerah kepulauan. Selain itu kajian lain tentang sistem dinamik juga dilakukan meliputi tahapan pembuatan model, validasi model, simulasi model serta uji coba skenario pada model. Serta kajian

3.3. Pemodelan Sistem

Pada tahapan ini akan dilakukan pembuatan model konseptual awal untuk menggambarkan kondisi yang terjadi di tempat penelitian yang sesuai dengan beberapa teori yang dipakai pada penelitian ini, model tersebut dalam bentuk *causal loop diagram* (CLD) atau diagram kausatik. Diagram tersebut nantinya digunakan sebagai dasar untuk pengembangan model dan kemudian dilakukan proses simulasi dengan menggunakan metode sistem dinamik. Hasil simulasi kemudian dilakukan validasi untuk memastikan model yang dibuat sudah sesuai dengan sistem yang sedang berjalan saat ini.

Pembuatan diagram kausatik didasarkan pada hasil dari tahapan

sebelumnya yaitu tahapan pengumpulan data dan kajian pustaka. Diagram kausatik yang akan dibuat menggambarkan sistem perencanaan pembangkit tenaga listrik untuk daerah kepulauan. Bentuk diagram kausatik dari penelitian ini bisa dilihat pada gambar 12.

Dalam diagram kausatik tersebut terdapat beberapa variable dari perencanaan sistem pembangkit listrik untuk Pulau Madura. Diantaranya adalah jumlah permintaan, rasio elektrifikasi, jumlah kepala keluarga (KK), kondisi wilayah, aspek sosial dan politik, biaya operasional pembangkit dan biaya perawatan pembangkit. Selain itu ada juga variable yang dibutuhkan dalam mengidentifikasi jenis-jenis pembangkit listrik apa saja yang cocok untuk Pulau Madura, diantaranya adalah kondisi wilayah, lingkungan dan geografis serta sumber daya manusia.

Menurut Axella (2012), permintaan energi listrik adalah total permintaan energi listrik selama 1 tahun di wilayah Pulau Madura dalam satuan KWH (Kilo Watt per Hours). Kapasitas pembangkit listrik adalah pembangkit listrik yang ada di Jamali terdiri dari beberapa jenis pembangkit, tergantung dari penggunaan bahan baku primer untuk pembangkit. Dalam prakteknya, faktor kapasitas tahunan PLTU hanya mencapai 60% - 80% karena adanya masa pemeliharaan dan adanya gangguan atau kerusakan yang dialami oleh PLTU. Untuk PLTA, faktor kapasitas tahunannya berkisar antara 30% - 50% karena berkaitan dengan ketersediaan air.

3.4. Causal loop diagram

Berdasarkan tujuan penelitian dapat dipetakan beberapa variable yang berkaitan dengan tujuan penelitian.

Tabel 3. 1 Variabel Terkait Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian	Variabel
Merencanakan Sistem Pembangkit Listrik Untuk Daerah Kepulauan	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah Permintaan • Rasio elektrifikasi • Jumlah Kepala Keluarga • Kondisi wilayah • Sosial dan politik • Biaya operasional • Biaya perawatan pembangkit
Mengidentifikasi jenis-jenis pembangkit listrik.	<ul style="list-style-type: none"> • Kondisi Wilayah • Lingkungan dan Geografis • Sumber daya manusia • Bahan baku
Mengidentifikasi Gangguan pada distribusi	<ul style="list-style-type: none"> • Kondisi Cuaca dan Geografis

(*mean comparison*) atau validasi model dengan cara uji perbandingan variasi amplitudo (*% error variance*) (Barlas, 1989)

3.6. Perlakuan Model dengan Skenario

Ditahapan ini, model yang sudah dibuat diuji coba dengan beberapa perlakuan model dengan mencoba beberapa skenario untuk mendapatkan rekomendasi, beberapa rekomendasi skenario tersebut nantinya bisa digunakan sesuai kebutuhan. Menurut Barlas (1989) memberikan dua alternative skenario yang bisa digunakan dalam sistem dinamik, yaitu:

1. Skenario Parameter

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada nilai parameter dari model yang sudah dibuat untuk mendapatkan hasil yang paling optimal atau yang sesuai dengan kebutuhan.

2. Skenario Struktur

Skenario ini dilakukan dengan cara melakukan perubahan sehingga di dapat struktur model yang baru dengan tujuan untuk mendapatkan peningkatan kinerja sistem dibandingkan sistem yang lama.

3.7. Analisa dan Pembahasan Hasil Simulasi

Tahapan berikutnya adalah melakukan analisa terhadap hasil uji coba atau simulasi dari pengembangan awal model dari sistem yang sudah dibuat, kemudian dilakukan perbaikan terhadap model awal berdasarkan hasil skenario yang sudah diuji coba.

3.8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan pada tahapan sebelumnya dilakukan perumusan kesimpulan kemudian memberikan saran-saran penelitian lanjutan yang mungkin bisa dilakukan dimasa yang akan datang.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

PENGEMBANGAN MODEL

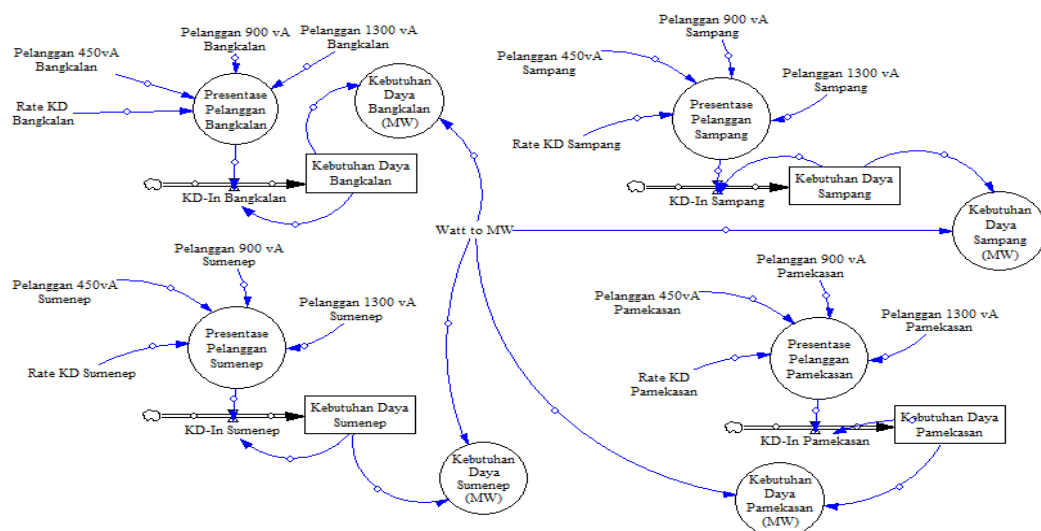
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai model perencanaan sistem pembangkit listrik yang ramah lingkungan dalam rangka menjamin keberlanjutan *supply* dan *demand* energi listrik untuk daerah kepulauan. Data studi kasus yang digunakan dalam penelitian adalah data pelanggan listrik, data perencanaan kapasitas pembangkit listrik yang meliputi profil umum dan kelistrikan kepulauan Madura.

4.1 Model Kebutuhan Daya Listrik

Kebutuhan daya listrik merupakan faktor yang sangat penting dalam perencanaan sistem pembangkit listrik. Dengan mengetahui jumlah kebutuhan daya listrik pada suatu daerah, maka dapat digunakan untuk mengetahui daya yang dibutuhkan dari suatu daerah tersebut. Pada pengembangan flow diagram ini akan dibagi menjadi 2 sub model, yaitu sub model kebutuhan daya kabupaten Madura dan sub model kebutuhan pulau-pulau kecil.

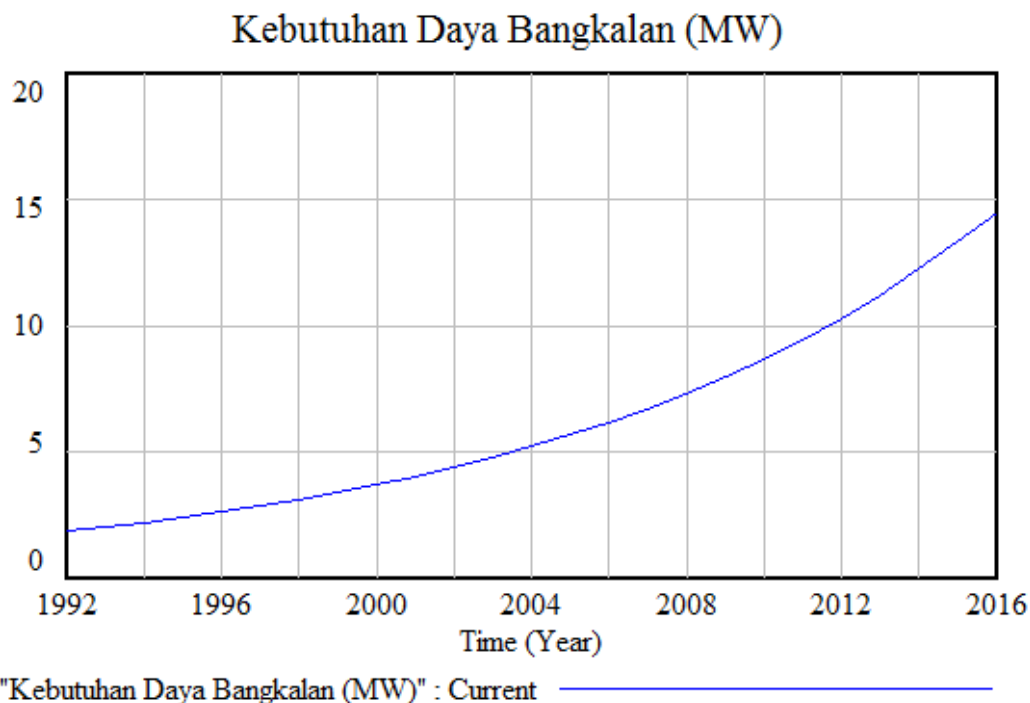
4.1.1 Sub Model Kebutuhan Daya Listrik Kabupaten Utama

Pada sub model kebutuhan daya listrik kabupaten utama akan digambarkan kebutuhan daya dari setiap kabupaten utama Madura. Yaitu Kabupaten Sumenep, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Bangkalan. Gambar di bawah ini menunjukkan flow diagram dari kebutuhan daya Kabupaten di Madura.

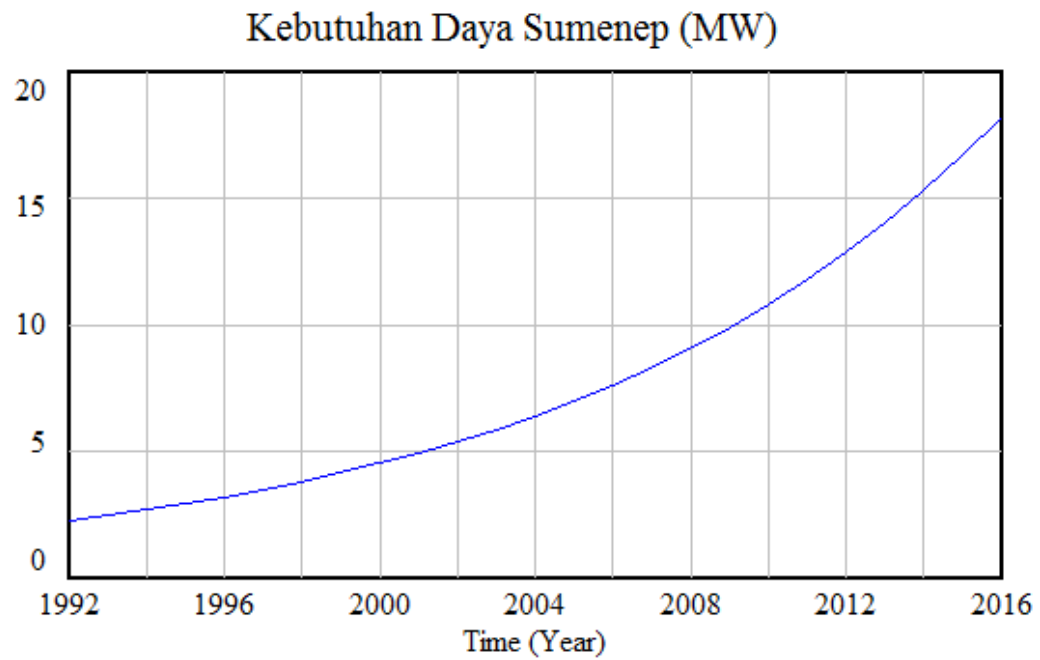


Gambar 4. 1 Flow Diagram Kebutuhan Daya Kabupaten Utama di Madura

Kebutuhan daya yaitu kebutuhan energi listrik yang diperlukan dari suatu daerah dalam satuan megawatt (mw). Sedangkan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan kebutuhan daya energi listrik di suatu daerah adalah jumlah pelanggan listrik. Pada model ini, pelanggan listrik rumah tangga diklasifikasikan berdasarkan daya terpasang. Adapun golongan tarif pelanggan listrik rumah tangga adalah 450 kVA, 900 kVA dan 1300 kVA. Rata-rata perkembangan kebutuhan energi listrik di Madura adalah sekitar 9%. Grafik di bawah ini menunjukkan perkembangan kebutuhan energi listrik di 4 kabupaten Madura dari tahun 1992 sampai 2016.

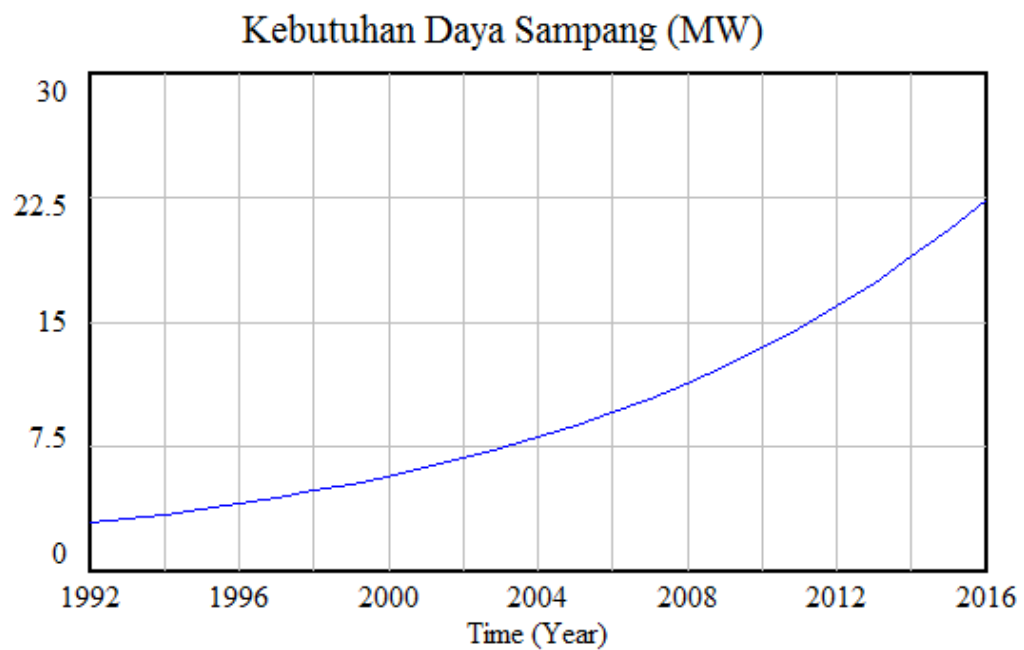


Gambar 4. 2 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Bangkalan



"Kebutuhan Daya Sumenep (MW)" : Current —————

Gambar 4. 3 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Sumenep



"Kebutuhan Daya Sampang (MW)" : Current —————

Gambar 4. 4 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Sampang

A line graph showing the increase in the number of people in the world from 1992 to 2016. The x-axis is labeled 'Time (Year)' and ranges from 1992 to 2016 with major ticks every 4 years. The y-axis ranges from 0 to 200 with major ticks every 50 units. A blue line starts at approximately (1992, 10) and rises steadily to approximately (2016, 140). The curve is slightly concave up, indicating an increasing rate of growth over time.

Year	Number of People (Approximate)
1992	10
1996	20
2000	30
2004	45
2008	65
2012	95
2016	140

Gambar 4. 5 Grafik Simulasi Perkembangan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Pamekasan

Jika dirangkum secara keseluruhan, akan tampak perbandingan perkembangan kebutuhan energi listrik di 4 kabupaten tersebut yang akan ditunjukkan oleh grafik di bawah ini. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa kabupaten Sumenep memiliki kebutuhan energi listrik yang paling tinggi.

"Kebutuhan Daya Bangkalan (MW)" : Current _____

"Kebutuhan Daya Pamekasan (MW)" : Current _____

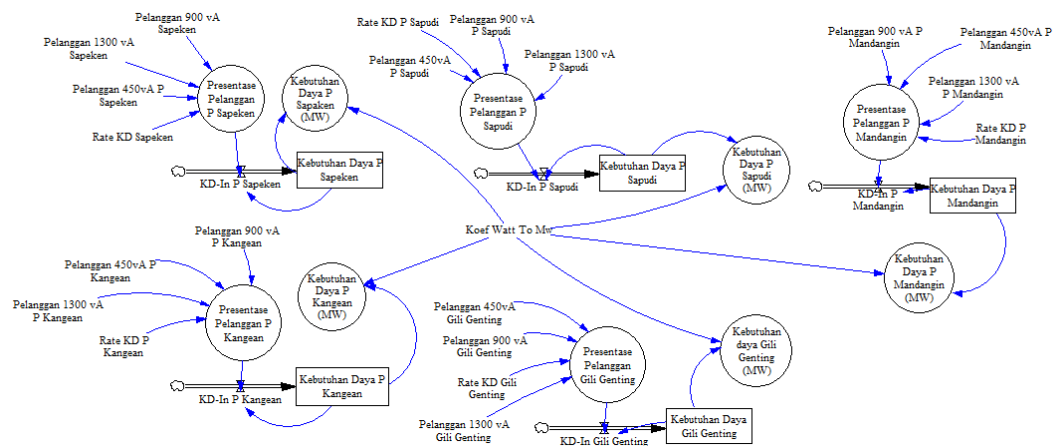
"Kebutuhan Daya Sampang (MW)" : Current _____

"Kebutuhan Daya Sumenep (MW)" : Current _____

Gambar 4. 6 Grafik Simulasi Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik di Kabupaten Madura

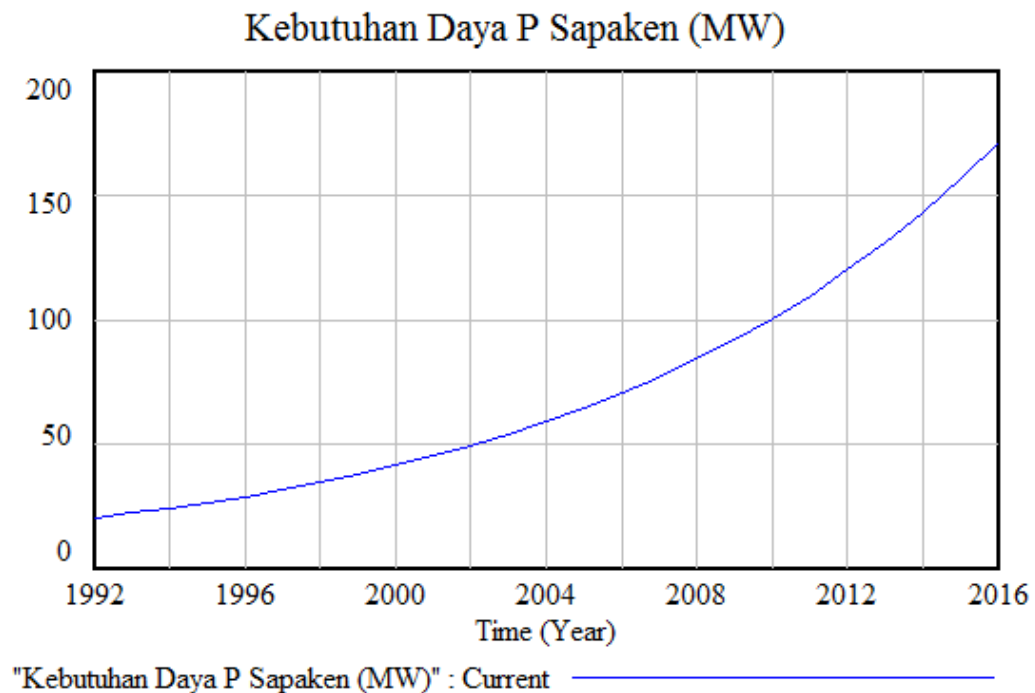
4.1.2 Sub Model Kebutuhan Daya Listrik Pulau Kecil

Pada sub model kebutuhan daya listrik pulau-pulau kecil akan digambarkan kebutuhan daya dari setiap pulau-pulau kecil di Madura. Adapun pulau kecil tersebut yaitu Pulau Sapeken, Pulau Sapudi, Pulau Gili Genteng, Pulau Mandangin dan Pulau Kangean. Gambar di bawah ini menunjukkan flow diagram untuk kebutuhan energi listrik di pulau-pulau kecil

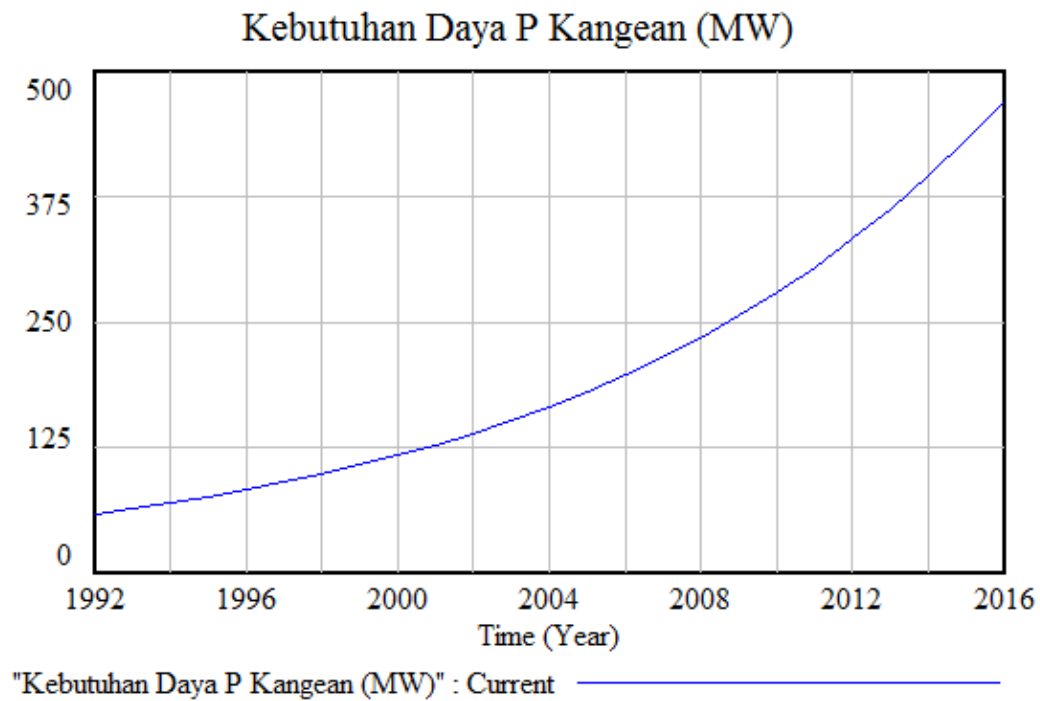


Gambar 4. 7 Flow Diagram Kebutuhan Energi Listrik Pulau-Pulau Kecil

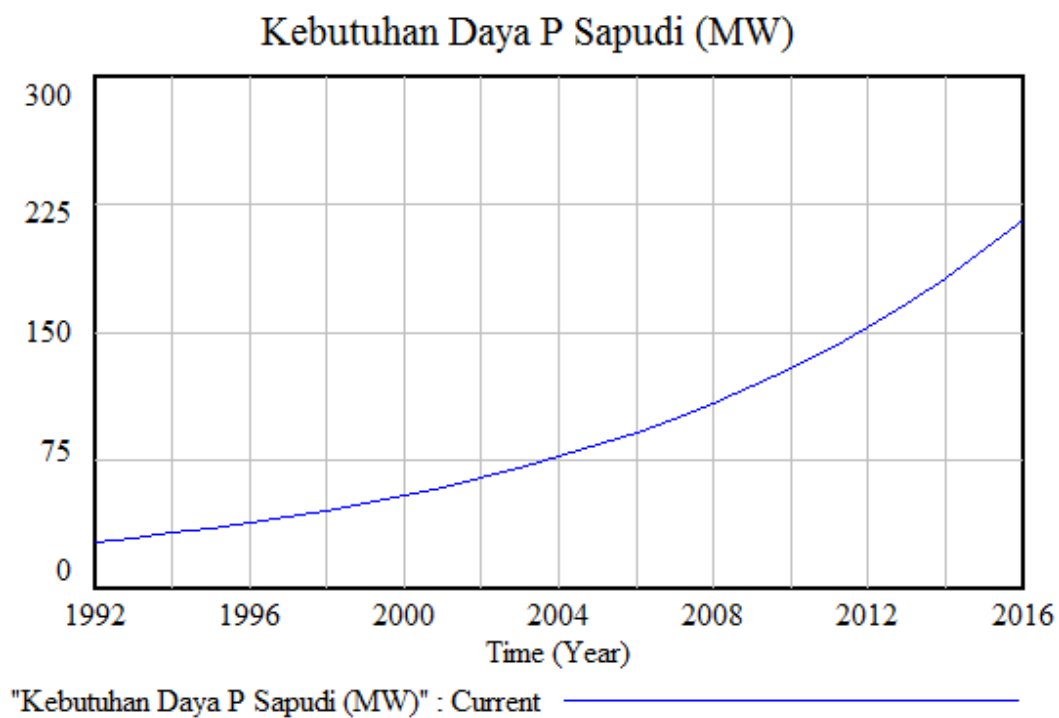
Grafik di bawah ini menunjukkan kebutuhan energi listrik untuk Pulau-Pulau kecil mulai tahun 1992 sampai 2016.



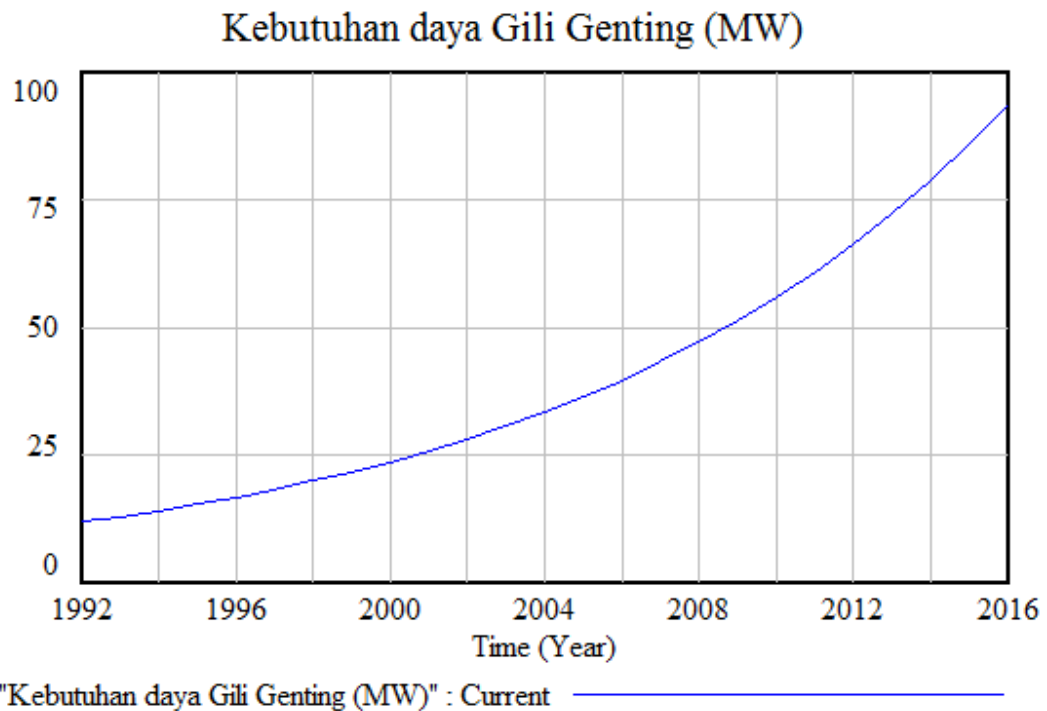
Gambar 4. 8 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Sapeken



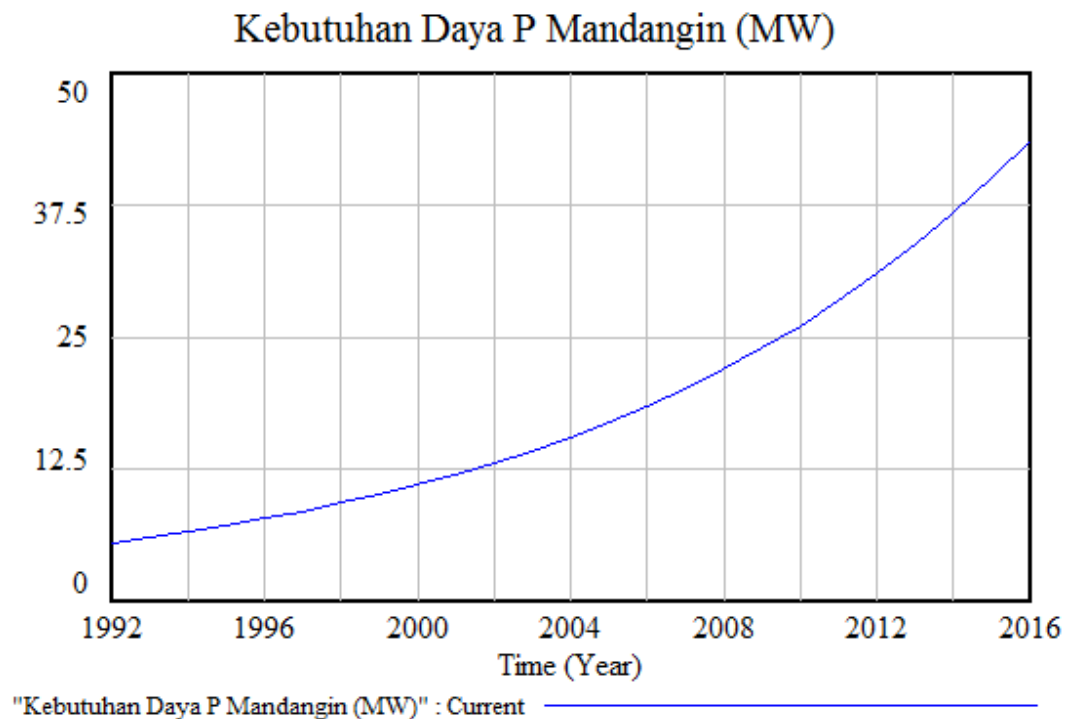
Gambar 4. 9 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Kangean



Gambar 4. 10 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Sapudi

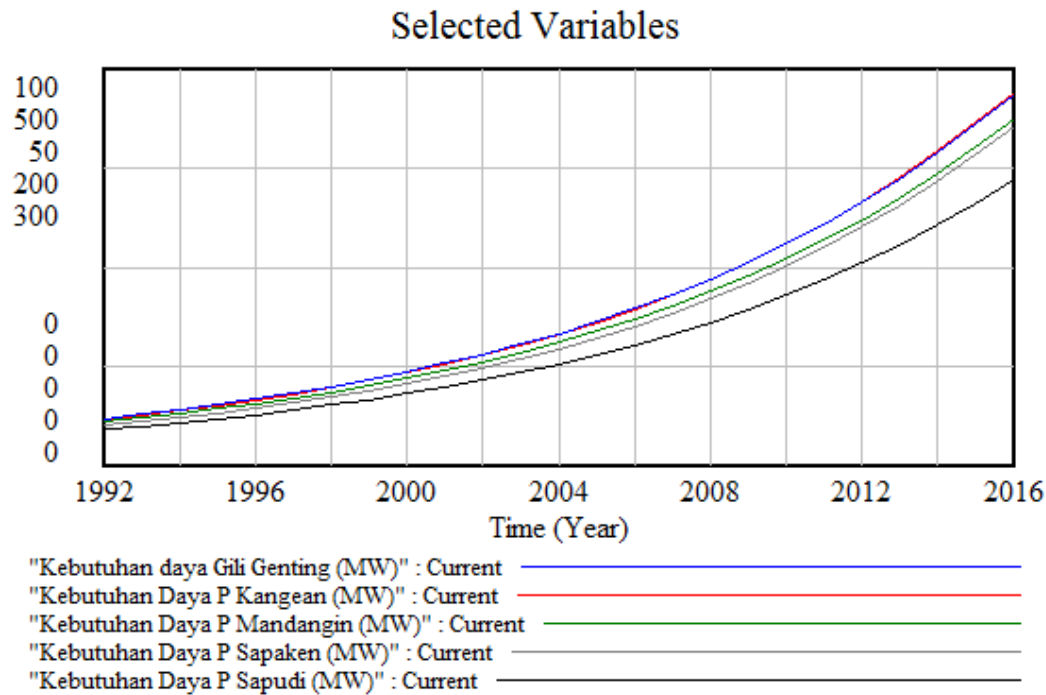


Gambar 4. 11 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Gili Genting



Gambar 4. 12 Grafik Simulasi Kebutuhan Energi Listrik Pulau Mandangin

Secara keseluruhan perbandingan kebutuhan energi listrik di pulau-pulau kecil Madura sebagai berikut:



Gambar 4. 13 Grafik Simulasi Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Pulau Kecil

4.2 Validasi Data

Hasil dari simulasi akan divalidasi untuk memastikan bahwa model yang dibuat benar-benar menggambarkan kondisi sistem nyata. Validasi sistem dilakukan dengan dua cara, yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata-rata mean comparasion dan validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau % error varian, validasi yang digunakan menggunakan model Yaman Barlas (1989).

4.2.1 Sub Model Kebutuhan Daya

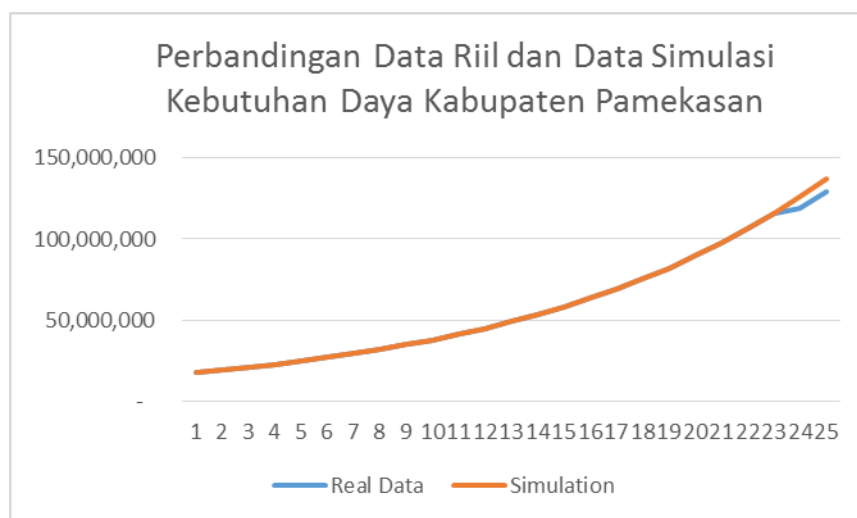
Berikut ini adalah validasi sub model kebutuhan daya energi listrik empat kabupaten utama Pulau Madura. Validasi data di bawah ini meliputi data riil dibandingkan dengan data simulasi base model.

Tabel 4. 1 Validasi Sub Model Kebutuhan Daya Kabupaten Pamekasan

Kabupaten	Demand Rata-Rata (2000-2016)			StdDev Kebutuhan Daya		
	Data (mw)	Simulasi (mw)	$E1 \leq 5\%$	Data (mw)	Simulasi (mw)	$E2 \leq 30\%$
Pamekasan	58,314	58,93	1.06 %	34,775,760	36,03	3.63%
Sampang	9,754	9,66	0.95%	5,905,658	5,85	0.85%
Bangkalan	6,300	6,23	1%	3,846,180	3,78	1.53%
Sumenep	7,622	7,73	1.52%	4,640,022	4,77	2.89%

P Mandangin	18,20	18,70	2.76%	10,540,351	11,44	8.54%
P Kangean	192	200,18	4.02%	111,691,418	123,50	10.58%
P Sapeken	66,79	68,66	2.8%	38,649,755	41,99	8.65%
P Sapudi	90,104	92,48	2.64%	52,294,508	56,55	8.15%
P Gili Genting	39,08	40,11	2.64%	22,683,244	24,53	8.14%

Seperti yang dapat dilihat pada tabel diatas, menunjukkan bahwa semua nilai E1 adalah kurang dari 5% dan nilai E2 kurang dari 30%. Ini berarti sub model kebutuhan daya untuk Kepulauan Madura dinyatakan valid.



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Data Riil dan Data Simulasi Kebutuhan Daya Energi Listrik Kabupaten Pamekasan

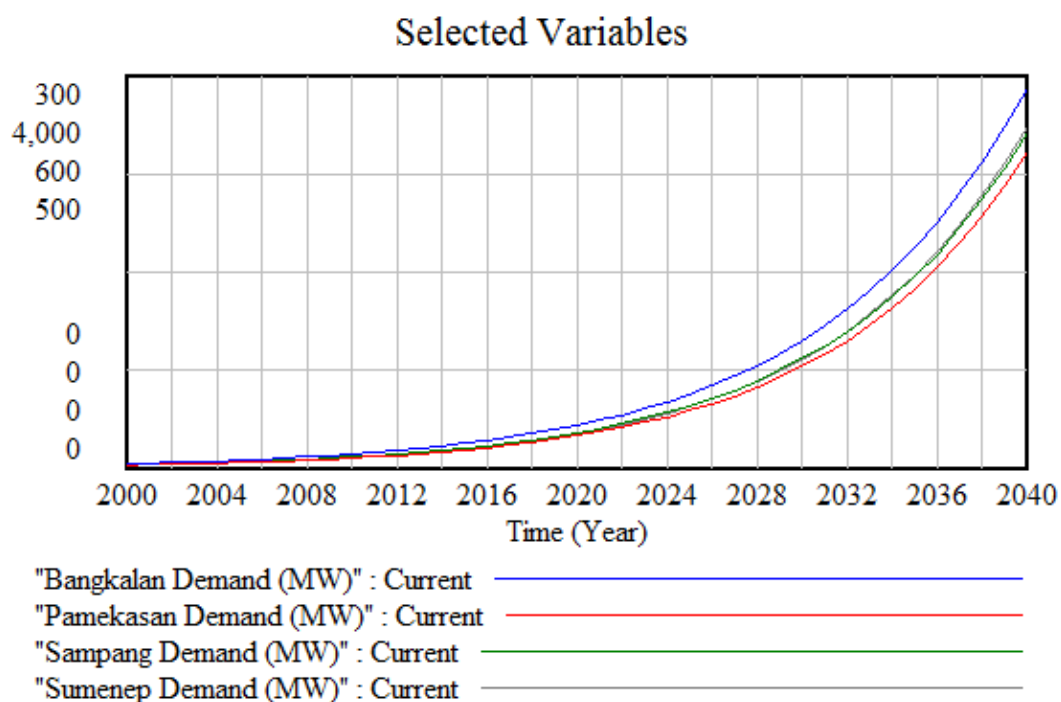
4.3 Model Skenario

Basis model merupakan acuan dasar untuk mengembangkan model skenario untuk selanjutnya dimanfaatkan untuk meramalkan bagaimana perencanaan kapasitas pembangkit listrik yang akan dipasang untuk memenuhi kebutuhan listrik di Madura. Dalam penelitian ini adalah perencanaan pembangkitan energi listrik yang diramalkan sampai tahun 2040. Pemilihan rentang waktu 2040 diasumsikan bahwa pembangunan pembangkit listrik memerlukan waktu kurang lebih 5 tahun dan usia pembangkit antara 30-40 tahun.

Skenario yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah skenario struktur dan skenario parameter. Pada sub model kebutuhan energi listrik dilakukan skenario parameter dengan memperhitungkan nilai parameter menjadi *pessimist*, *most likely* dan *optimist*.

4.3.1 Sub Model Pertumbuhan Permintaan Energi Listrik

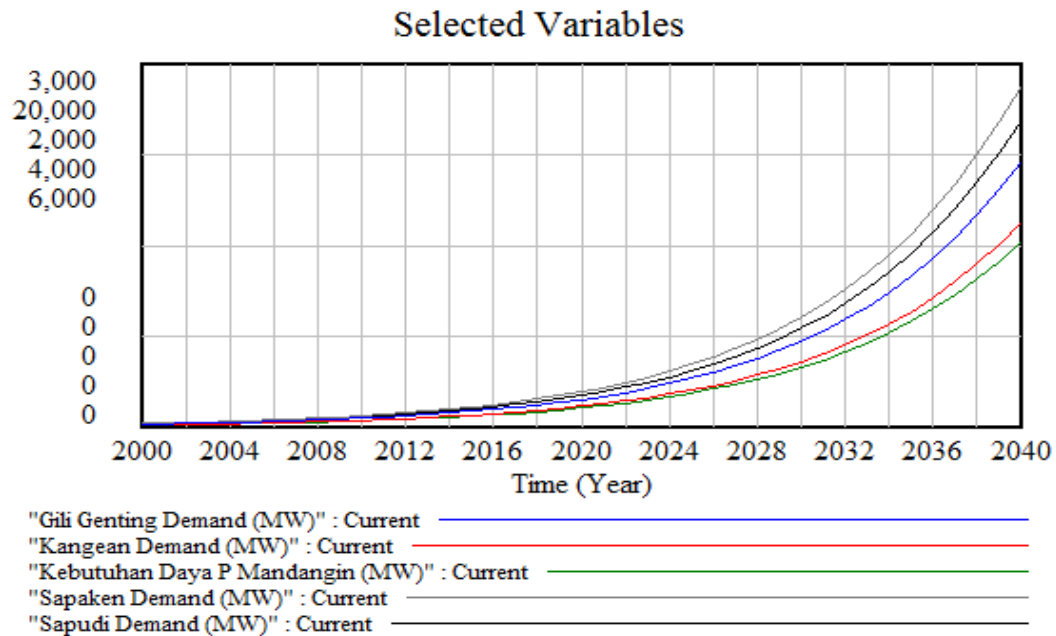
Pada sub model pertumbuhan permintaan energi listrik ini menggunakan scenario parameter, dimana laju pertumbuhan permintaan energi listrik ditingkatkan menjadi 12% untuk scenario *optimist*, 10% untuk scenario *most likely* dan 9% untuk scenario *pessimist*. Berikut adalah grafik hasil simulasi dari scenario *optimist* pertumbuhan permintaan energi listrik dengan laju pertumbuhan rata-rata 12% di Kabupaten Madura dan Pulau Kecil.



Gambar 4. 15 Grafik Hasil Simulasi Skenario Optimis Sub Model Permintaan Energi Listrik Kabupaten Madura

Untuk meramalkan permintaan energi listrik di masa yang akan datang, periode waktu yang digunakan pada model adalah 2000-2040. Alasan mengapa pemilihan periode waktu sampai tahun 2040 adalah karena pembangunan pembangkit listrik memerlukan waktu kurang lebih 5 tahun, sehingga terhitung mulai tahun 2017 ditambah dengan umur pembangkit selama 30 tahun (RUPTL PLN, 2015-2024). Proyeksi kebutuhan listrik per tahun di Kabupaten Bangkalan pada tahun 2040 mencapai 290,56 mW / tahun, Kabupaten Pamekasan mencapai 3224,9 mW / tahun, Kabupaten Sampang 513,33 mW / tahun dan Kabupaten Sumenep 436,1 mW / tahun. Sedangkan untuk Pulau kecil di sekitar Madura adalah Pulau Gili Genting dengan proyeksi kebutuhan mencapai 2195,2 mw/tahun, Pulau Kangean

11.282,9 mw/tahun, Pulau Mandangin 1023,7 mw/tahun, Pulau Sapeken 3757,8 mw/tahun dan Pulau Sapudi 5061,1 mw/tahun. Berikut grafik hasil simulasi scenario *optimist* kebutuhan gugus Pulau Madura.

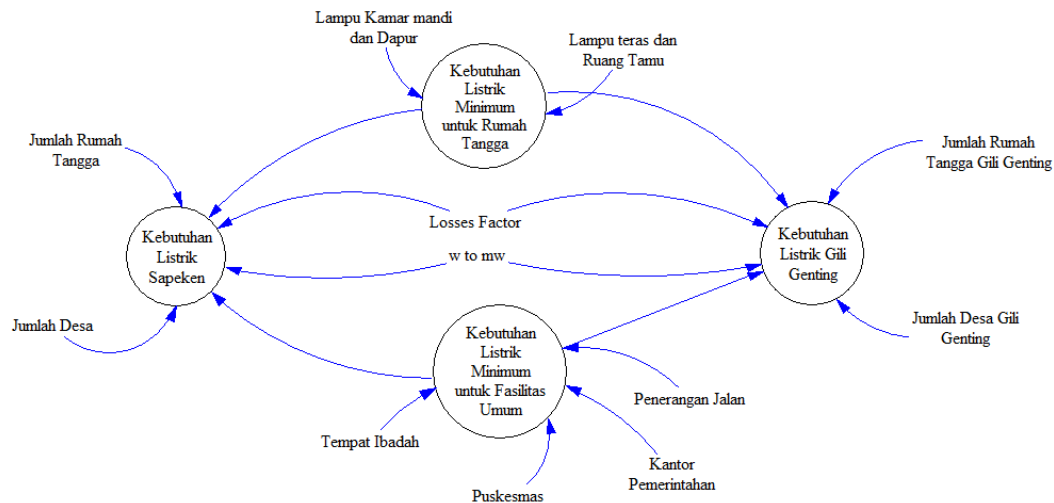


Gambar 4. 16 Grafik Hasil Simulasi Skenario Optimis Sub Model Permintaan Energi Listrik Pulau Kecil di Madura

4.3.2 Sub Model Skenario Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Kepulauan

Kondisi yang harus dihadapi oleh Indonesia saat ini adalah kebutuhan energi yang terus meningkat sementara cadangan bahan bakar energi fosil terus berkurang. Selain itu dengan menggunakan bahan bakar fosil, akan berdampak buruk pada lingkungan karena menghasilkan emisi yang merusak lingkungan (Prasetyo, 2014). Negara Indonesia memiliki banyak potensi energi baru terbarukan namun pemanfaatannya masih belum optimal disebabkan biaya pembangkitan listrik energi terbarukan seperti tenaga surya belum dapat bersaing dengan biaya pembangkitan energi listrik berbahan bakar fosil (Fitriana, 2009).

Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia memiliki sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari mencapai 4.8 kWh/m² per hari. PLTS ini sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan listrik di gugus Pulau Madura. Ada dua macam PLTS yang digunakan saat ini, yaitu *Solar Home System* dan PLTS terpusat. Berikut adalah skenario model kebutuhan listrik untuk Pulau Sapeken dan Pulau Gili Genting.



Gambar 4. 17 Model Skenario Kebutuhan Listrik untuk Pulau Sapeken dan Pulau Gili Gending

Kebutuhan listrik suatu wilayah dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kebutuhan listrik untuk rumah tangga dan kebutuhan listrik untuk fasilitas umum. Yang termasuk kebutuhan rumah tangga dalam hal penggunaan energi listrik adalah kebutuhan listrik minimum, yaitu lampu kamar mandi dan dapur serta lampu teras dan ruang tamu. Sedangkan fasilitas umum desa yaitu tempat ibadah, puskesmas, kantor pemerintahan dan penerangan jalan.

Tabel 4. 2 Data Kebutuhan Listrik Minimum untuk Rumah Tangga dan Fasilitas Umum

No	Kategori	Jumlah	Daya	Waktu Operasional	Pemakaian Daya	Kebutuhan Daya
I	Rumah Tangga					
	- Penerangan Teras & Ruang Tamu	2	@5 watt	12 jam	120 Wh	250 watt
	- Penerangan Kamar, dapur, kamar mandi	4	@5 watt	6 jam	120 Wh	
II	Fasilitas Umum Desa					
	- Kantor Pemerintahan	1			250 Wh	1.000 watt
	- Tempat Ibadah	1			250 Wh	
	- Sekolah Dasar	1			250 Wh	
	- Penerangan Jalan	1			250 Wh	

Kecamatan Sapeken dan Kecamatan Gili Gending masih termasuk kecamatan yang belum menikmati fasilitas listrik dikarenakan permasalahan infrastruktur dan

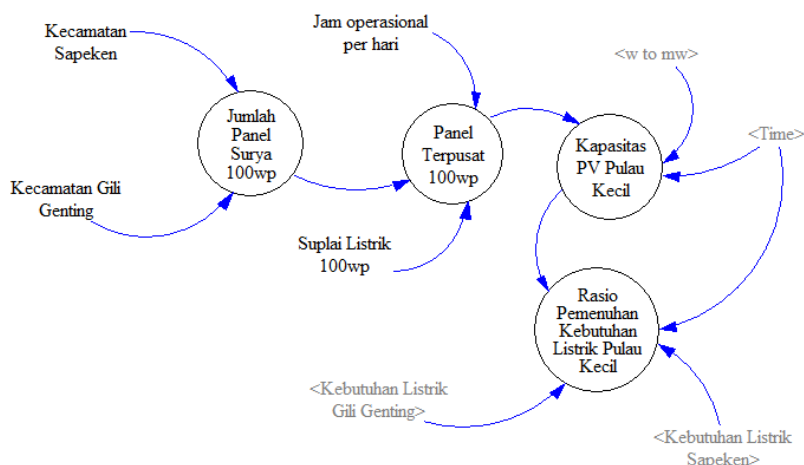
geografis. Pengelompokan data untuk masing-masing kecamatan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Data Kecamatan Sapeken dan Gili Genting

No	KECAMATAN	Sapeken	Gili Genting
1	Luas Wilayah (km ²)	201,89	30,32
2	Jumlah Desa	9	8
3	Kondisi Geografis	Dataran Rendah	Dataran Rendah
4	Jumlah Penduduk	45.725	27.782
5	Jumlah Rumah Tangga	12.998	8.111
6	Temperatur (°C)	28 - 30	28 - 30
7	Jumlah hari hujan/tahun	120	61

4.3.3 Sub Model Rasio Pemenuhan Kebutuhan PLTS

Perencanaan pembangunan PLTS pada gugus Pulau Madura di Kabupaten Sumenep menggunakan model *Centralized Photovoltaics* (PLTS terpusat / komunal) dengan menggunakan panel surya 100Wp. Alasan kenapa menggunakan model PLTS komunal adalah kondisi geografis Kecamatan Sapeken dan Gili Genting yang terletak di dataran rendah dan kawasan pantai. Berikut adalah model scenario rasio pemenuhan kebutuhan listrik untuk Kecamatan Sapeken dan Gili Genting:



Gambar 4. 18 Model Skenario Pemenuhan Kebutuhan Kecamatan Sapeken dan Gili Genting

Pada perencanaan PLTS, perlu diperhatikan data-data mengenai jumlah desa dan rumah tangga, jumlah fasilitas desa sehingga bisa dihitung total kebutuhan listrik dan jumlah panel yang diperlukan. Data pengeleompokan kebutuhan listrik dan perhitungan jumlah panel surya untuk kecamatan Sapeken dan Gili Genting dapat dilihat pada tabel berikut:

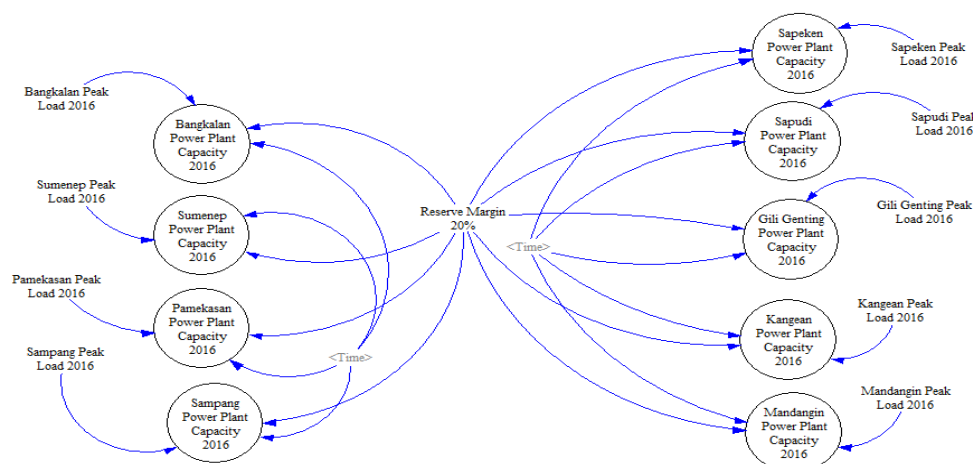
Tabel 4. 4 Tabel Perencanaan Kapasitas PLTS Rasio Pemenuhan Kebutuhan Pulau Kecil

Lokasi	Total Kebutuhan Listrik (Watt)	Jumlah Panel Surya 100Wp	Kapasitas PV Pulau Kecil (mw)	Rasio Pemenuhan Kebutuhan (%)
Kec Sapeken	3.128.520	6953	5.0842	83.34
Kec Gili Genting	1.954.640	4344		

Hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 4.19 bahwa dengan adanya PLTS komunal di Kecamatan Sapeken dan Gili Genting dapat memenuhi kebutuhan listrik hingga 83%.

4.3.2 Sub Model Perencanaan Kapasitas Energi Listrik

Terdapat beberapa faktor yang diperhatikan dalam memodelkan kapasitas energi listrik. Diantaranya total kebutuhan daya yang diperlukan dalam suatu daerah serta *reserve margin*. Spare daya atau *reserve margin* adalah cadangan daya pembangkit terhadap beban puncak dan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Berdasarkan kebutuhan daya per daerah yang sudah dirumuskan sebelumnya, ditambah dengan spare daya sebesar 20% (www.pln.co.id), maka dapat dibuat model untuk total kebutuhan daya listrik sebagai berikut:



Gambar 4. 19 Sub Model Perencanaan Kapasitas Energi Listrik

Dari model tersebut menggunakan periode waktu 2000-2040, didapatkan hasil bahwa untuk kabupaten Bangkalan akan direncanakan kapasitas pembangkit sebesar 55,11 mw, Kabupaten Pamekasan 64,7 mw, Kabupaten Sampang 57,3 mw dan Kabupaten Sumenep 54,5 mw.

Sedangkan untuk perencanaan kapasitas pembangkit bagi gugus pulau Madura lebih kecil daripada pulau utama. Untuk Pulau Gili Genting direncanakan 5,4 mw, Pulau Kangean 2,64 mw, Pulau Mandangin 0,6 mw, Pulau Sapeken 0,48 mw dan Pulau Sapudi 1,56 mw. Grafik hasil simulasi dapat dilihat pada gambar berikut:

4.3.3 Sub Model PLTA, Utilisasi Batubara dan Utilisasi Gas Kabupaten Sampang

Untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di Pulau Madura, dibutuhkan sebuah model scenario untuk perencanaan pengembangan pembangkit listrik berdasarkan sumber daya alam yang dimiliki oleh Pulau Madura. Guna mendukung perencanaan pembangkitan yang ramah lingkungan, maka diutamakan jenis pembangkit dengan sumber daya alam non fosil. Salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air yang terdapat di Kabupaten Sampang. Dalam analisa teknis PLTA, terdapat empat faktor yang perlu diperhatikan. Yang pertama adalah debit air terjun, tinggi tebing air terjun, efisiensi turbin dan konstanta gravitasi (Marsudi, 2011) dengan rumus sebagai berikut:

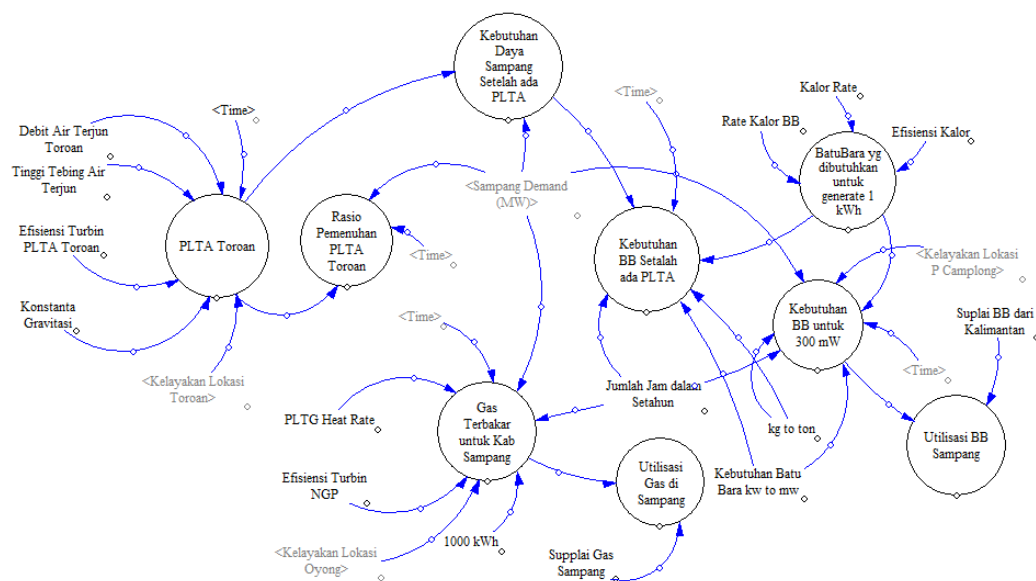
$$\text{Daya yang dibangkitkan} = \text{Debit Air terjun (m}^3/\text{s)} * \text{tinggi tebing (m)} * \text{efisiensi turbin (\%)} * \text{konstanta gravitasi (9,8 m}^2/\text{s)}$$

Berdasarkan survey, didapatkan daya yang dibangkitkan untuk PLTA air terjun toroan adalah 1,955 mw. Nilai ini dapat meningkatkan rasio pemenuhan kebutuhan listrik Kabupaten sampan hingga 5% saat tahun 2017 hingga mencapai 0,381% pada tahun 2040.

Batubara sebagai bahan bakar utama pembangkit listrik tenaga uap sangat dibutuhkan. Sampai saat ini Pulau Jawa masih membutuhkan suplai batubara dari Pulau Kalimantan. Pada sub model utilisasi ini untuk menghitung seberapa besar pemanfaatan batubara untuk rencana pembangkit listrik tenaga uap guna memenuhi kebutuhan energi listrik di Pulau Madura. Faktor-faktor yang perlu

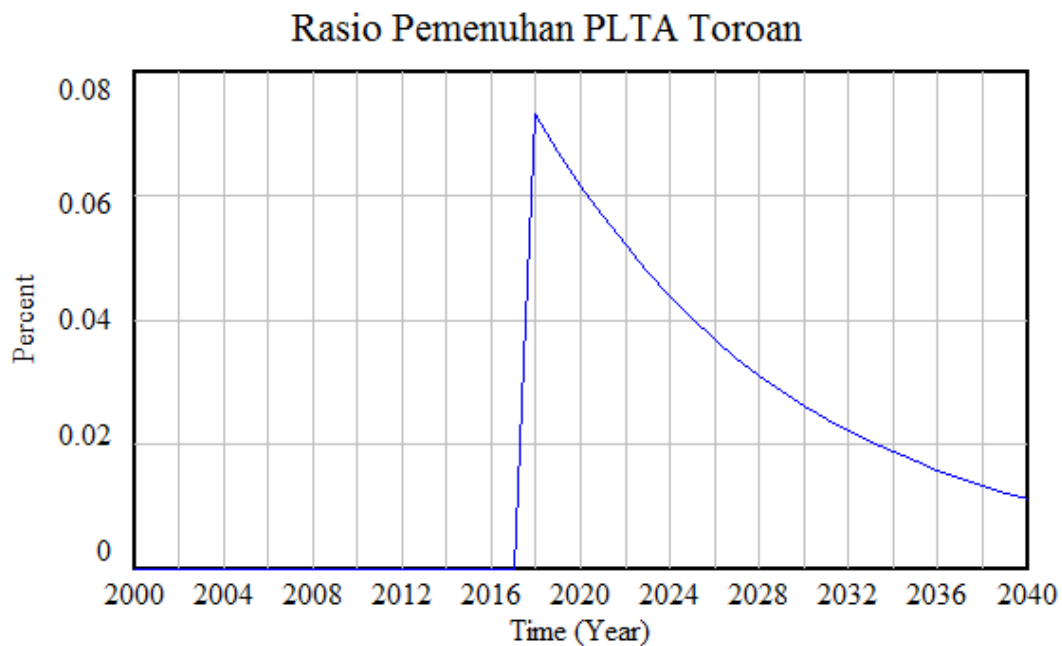
diperhatikan dalam mengetahui seberapa besar daya yang dibangkitkan pada PLTU adalah *coal heat rate*, *heat efficiency* dan *amount of coal* (<http://www.eia.gov>, 2016).

Di kabupaten Sampang juga terdapat sumber gas. Pada sub model ini juga menghitung seberapa besar pemanfaatan gas yang ada untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Sampang. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam mengetahui daya yang dibangkitkan dari PLTG adalah *Natural gas heat rate* dan *turbine efficiency* (<http://www.eia.gov>, 2016). Berikut adalah gambar sub model PLTA, utilisasi batubara dan gas:



Gambar 4. 20 Sub Model PLTA, Utilisasi Batubara dan gas di Kabupaten Sampang

Perhitungan rasio pemenuhan kebutuhan pada pembangkit listrik tenaga air di air terjun Toroan adalah perbandingan antara jumlah daya yang dibangkitkan dengan jumlah permintaan energi listrik di Kabupaten Sampang. Grafik rasio pemenuhan kebutuhan listrik pada pembangkit listrik tenaga air terjun Toroan dapat dilihat pada gambar berikut:



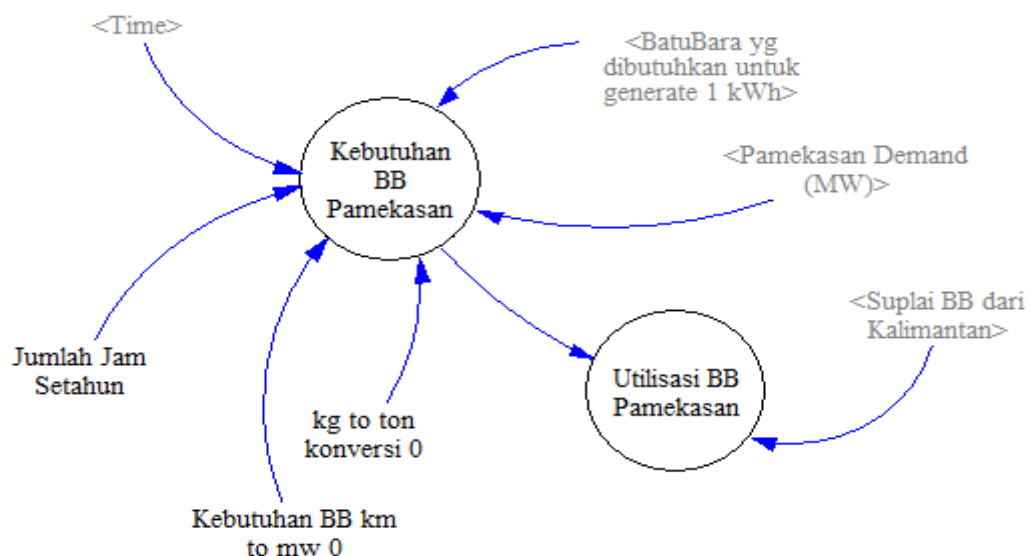
Rasio Pemenuhan PLTA Toroan : Test

Gambar 4. 21 Rasio Pemenuhan Kebutuhan Listrik pada PLTA Toroan

Sementara untuk utilisasi pemanfaatan batubara untuk pembangkit listrik tenaga uap pada tahun 2040 mencapai

4.3.4 Sub Model Utilisasi Batubara Kabupaten Pamekasan dan Bangkalan

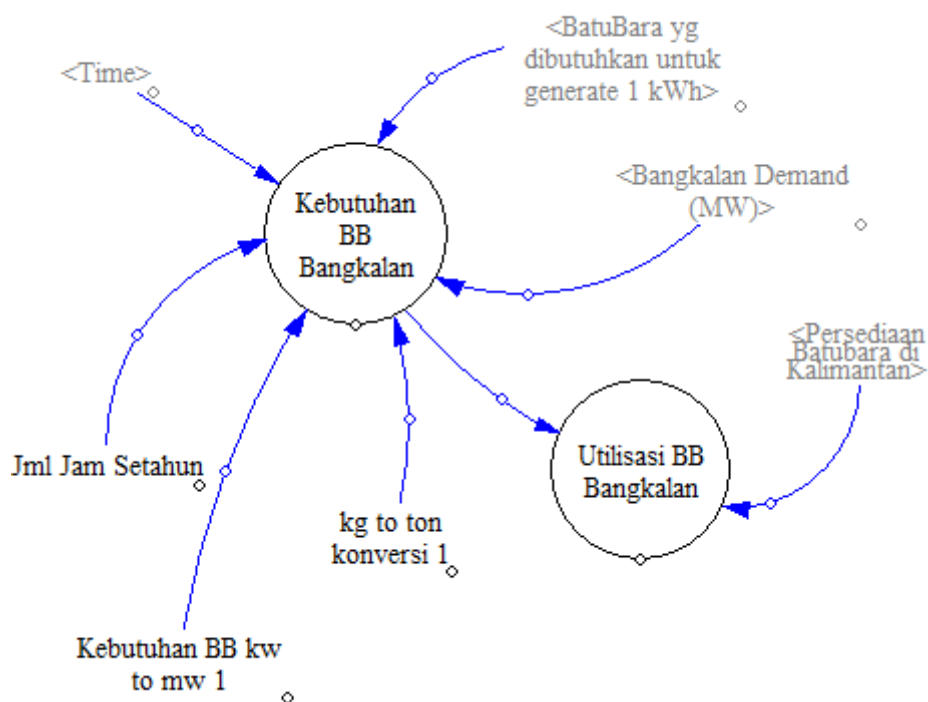
Sesuai dengan potensi pembangkit listrik di kabupaten Pamekasan adalah pantai yang strategis sehingga kapal tongkang pengangkut batubara dari Kalimantan dapat berlabuh. Berikut adalah sub model utilisasi batubara Kabupaten Pamekasan:



Gambar 4. 22 Sub Model Utilisasi Batubara Kabupaten Pamekasan

Dari simulasi model, didapatkan hasil bahwa batubara yang diperlukan untuk memenuhi permintaan energi listrik di Kabupaten Pamekasan di tahun 2040 adalah 11.300.195 ton / tahun. Jumlah persediaan batubara dari Pulau Kalimantan mencapai 7.229.950.000.000 ton. Dari jumlah persediaan ini, total pemakaian batubara untuk PLTU pada tahun 2040 mencapai 0.00000156297%.

Untuk Kabupaten Bangkalan memiliki potensi sumber daya yang sama, yaitu pantai strategis untuk pelabuhan kapal tongkang. Dari simulasi model, didapatkan hasil bahwa batubara yang diperlukan untuk memenuhi permintaan energi listrik di Kabupaten Bangkalan di tahun 2040 adalah 1.018.150 ton / tahun. Dari jumlah persediaan batubara di Kalimantan, total pemakaian batubara sebagai bahan bakar PLTU di Kabupaten Bangkalan pada tahun 2040 mencapai 0,000000140824%. Berikut adalah sub model utilisasi batubara di Kabupaten Bangkalan:

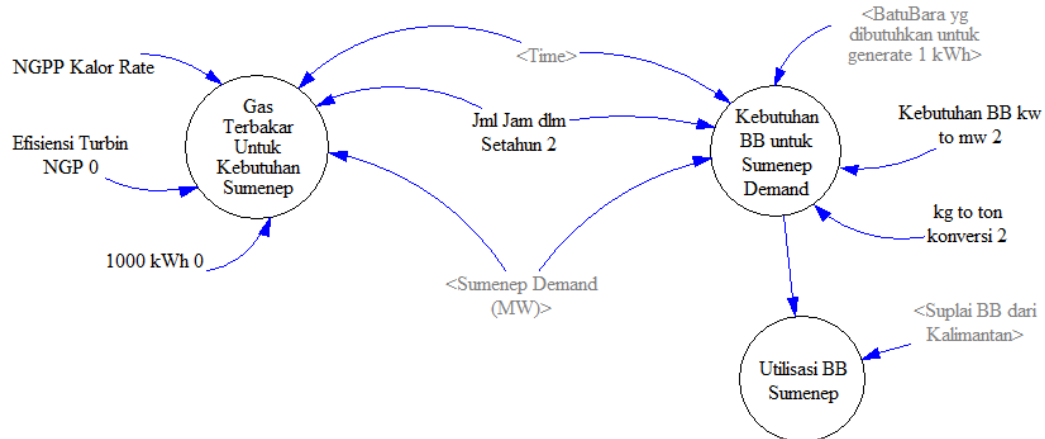


Gambar 4. 23 Sub Model Utilisasi Batubara Kabupaten Bangkalan

4.3.5 Sub Model Utilisasi Batubara dan Gas Alam di Kabupaten Sumenep

Pada sub model utilisasi batubara dan gas di Kabupaten sumenep ini sedikit berbeda dengan kabupaten lainnya karena di Kabupaten Sumenep terdapat sumber daya gas alam. Dari hasil running model didapatkan bahwa batubara yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada tahun 2040 adalah 152.811.000.000 ton. Sedangkan gas yang dibutuhkan untuk memenuhi

kebutuhan permintaan energi listrik pada tahun 2040 di Kabupaten Sumenep adalah 15.109.328 cf. Berikut adalah sub model utilisasi batubara dan gas alam di Kabupaten Sumenep:



Gambar 4. 24 Sub Model Utilisasi Batubara dan Gas Alam Kabupaten Sumenep

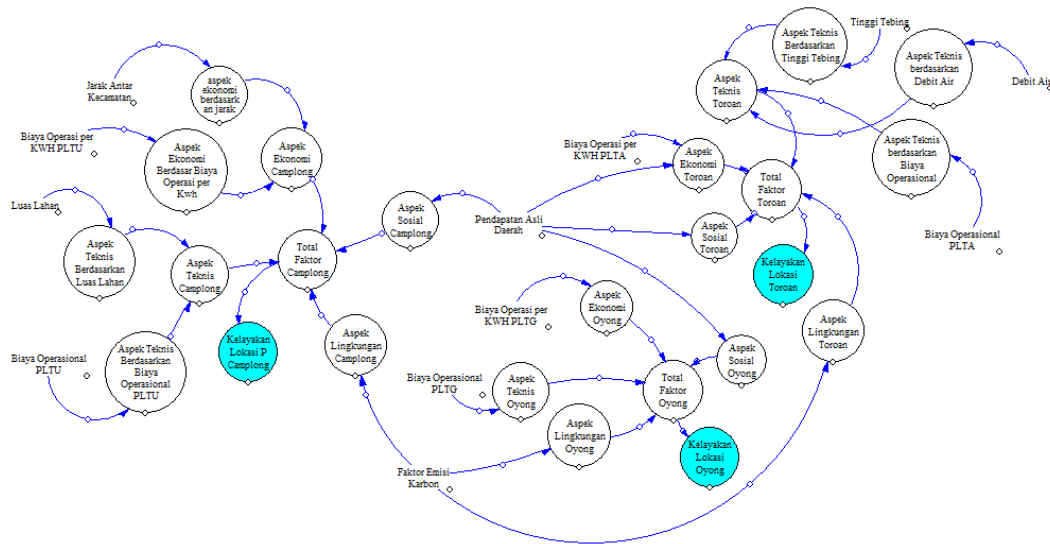
4.3.6 Sub Model Pemilihan Lokasi Pembangkit Listrik

Sub model lokasi pembangkit listrik dibuat untuk melihat kemungkinan lokasi dan jenis pembangkit yang cocok untuk kabupaten utama Pulau Madura. Menurut Anwar et al (2011), secara teknis pembangunan pembangkit listrik memerlukan air yang cukup sehingga perlu dibangun di dekat pantai atau air terjun maupun *reservoir* (bendungan). Dari hasil diskusi dengan PT PLN Area Distribusi Pamekasan ditambah dengan berbagai referensi, maka terdapat tiga jenis pembangkit yang sesuai untuk Pulau Madura. Ketiga jenis pembangkit itu adalah: Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang dibangun di Pantai Camplong, Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) di daerah Oyong dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di daerah Air Terjun Toroan.

Dalam merencanakan pengembangan dan pembangunan pembangkit listrik perlu diperhatikan empat aspek utama, yaitu aspek teknis, aspek ekonomi, aspek social dan aspek lingkungan. Aspek teknis meliputi luas lahan dan biaya operasional pembangkit, aspek ekonomi meliputi biaya operasi per kWh dan jarak antar kecamatan, aspek sosial meliputi pendapatan asli daerah dan aspek lingkungan meliputi faktor emisi CO₂.

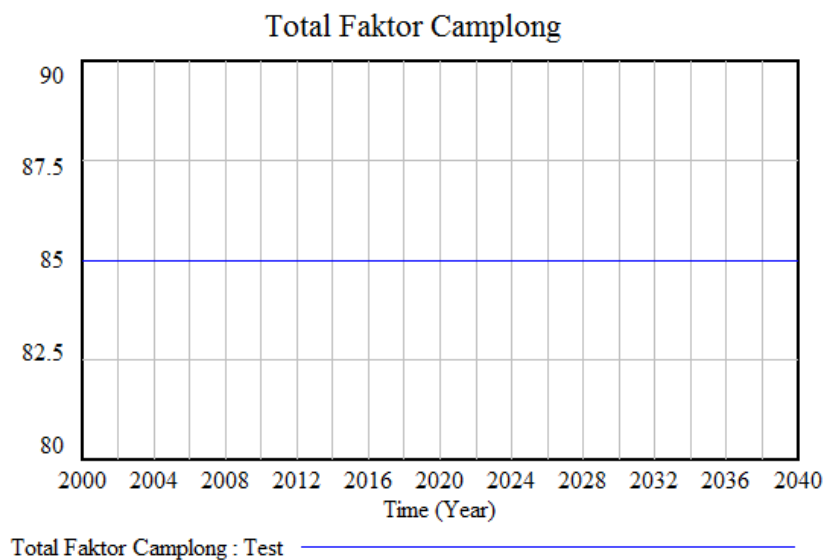
Menurut data dari BPS Kabupaten Sampang (2015), luas lahan dari Pantai Camplong adalah sekitar 30 ha. Luas lahan ini terbilang cukup untuk membangun sebuah PLTU dimana lahan minimal yang digunakan untuk membangun PLTU adalah 20 ha (PLN, 2015). Biaya operasional sebuah PLTU sekitar 30 triliun

sampai 60 triliun (Statistik PLN, 2011-2015). Pendapatan Asli daerah Kabupaten Sampang berkisar antara Rp 946.148.872 sampai Rp 1.328.277.075. Model scenario untuk kelayakan lokasi pembangkit adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 25 Diagram Flow Penentuan Kelayakan Lokasi dan Jenis Pembangkit untuk Kabupaten Sampang

Berikut adalah hasil running simulasi total faktor untuk daerah lokasi Pantai Camplong:



Gambar 4. 26 Total Faktor Lokasi Pembangkit Pantai Camplong

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa total nilai untuk kelayakan lokasi Pantai Camplong adalah 85% dan sudah memenuhi kriteria. Nilai ini didapat berdasarkan persamaan ($\text{Total faktor} = (\text{Technical Aspect} + \text{Economic Aspect} + \text{Social Aspect} + \text{Environment Aspect}) / 20 * 100$).

Sedangkan untuk menilai masing-masing aspek, digunakan skala likert 1 sampai 5 dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1 : Sangat Kurang**
- 2 : Kurang**
- 3 : Cukup**
- 4 : Baik**
- 5 : Baik Sekali**

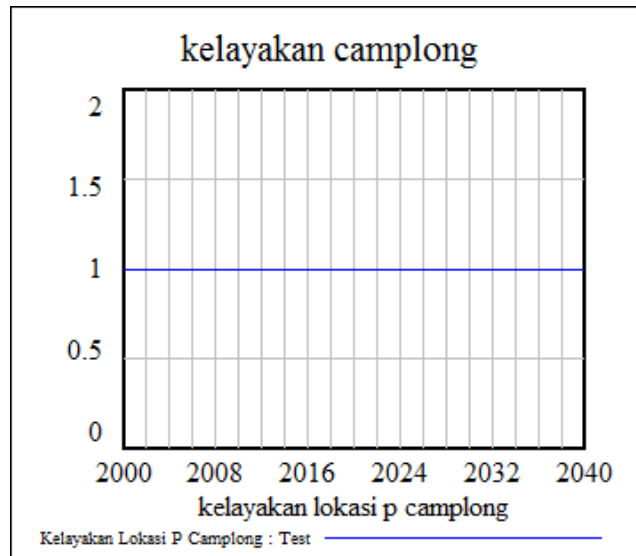
Untuk aspek teknis dari Pantai Camplong yaitu berdasarkan luas lahan dan biaya operasional PLTU. Untuk luas lahan dilakukan scaling sebagai berikut:

- Luas Lahan ≥ 5.000 and Luas Lahan < 15.000 maka nilainya 1**
- Luas Lahan ≥ 15.000 and Luas Lahan < 25.000 maka nilainya 2**
- Luas Lahan ≥ 25.000 and Luas Lahan < 35.000 maka nilainya 3**
- Luas Lahan ≥ 35.000 and Luas Lahan < 45.000 maka nilainya 4**
- Luas Lahan ≥ 45.000 maka nilainya 5**

Sedangkan untuk biaya operasional dilakukan scaling sebagai berikut:

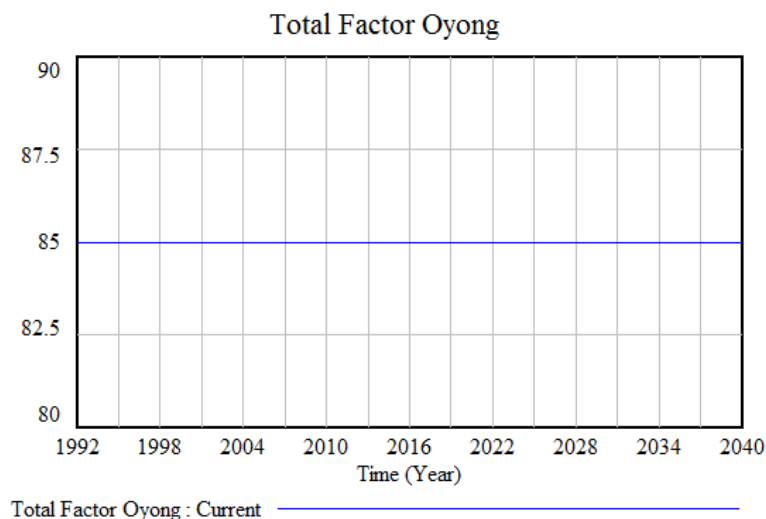
- Biaya Operasional PLTU $\leq 6.5e+013$ and $> 6e+013$ maka nilainya 1**
- Biaya Operasional PLTU $\leq 6e+013$ and $> 5.5e+013$ maka nilainya 2**
- Biaya Operasional PLTU $\leq 5.5e+013$ and $> 5e+013$ maka nilainya 3**
- Biaya Operasional PLTU $\leq 5e+013$ and $> 4.5e+013$ maka nilainya 4**
- Biaya Operasional PLTU $\leq 4.5e+013$ maka nilainya 5**

Dengan mengacu kepada skala likert di atas, maka perhitungan untuk aspek yang lain juga dapat dilakukan. Grafik dibawah ini adalah hasil running simulasi kelayakan lokasi Pantai Camplong untuk pengembangan pembangkitan energi listrik.



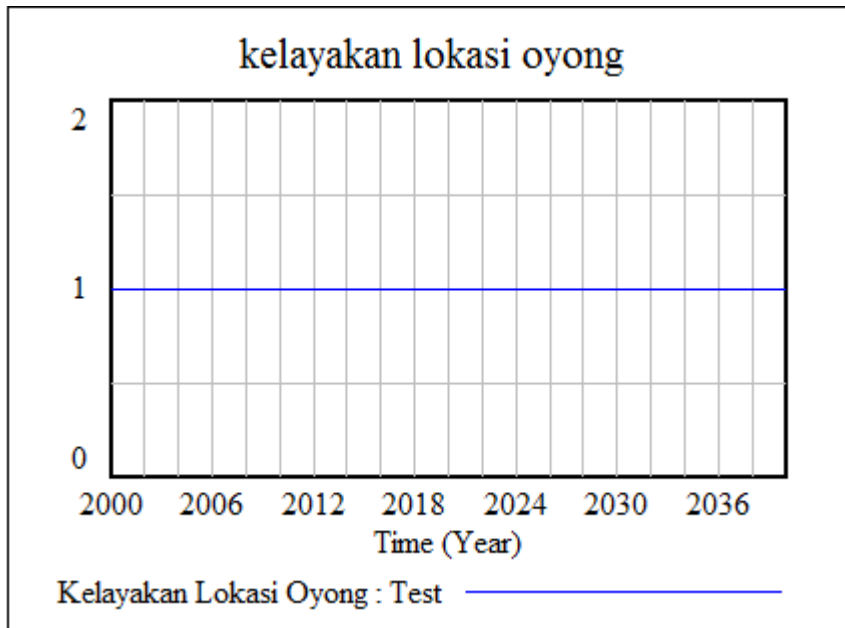
Gambar 4. 27 Kelayakan Lokasi Pembangkit Listrik untuk Pantai Camplong

Berikut hasil running simulasi total faktor untuk daerah Oyong:



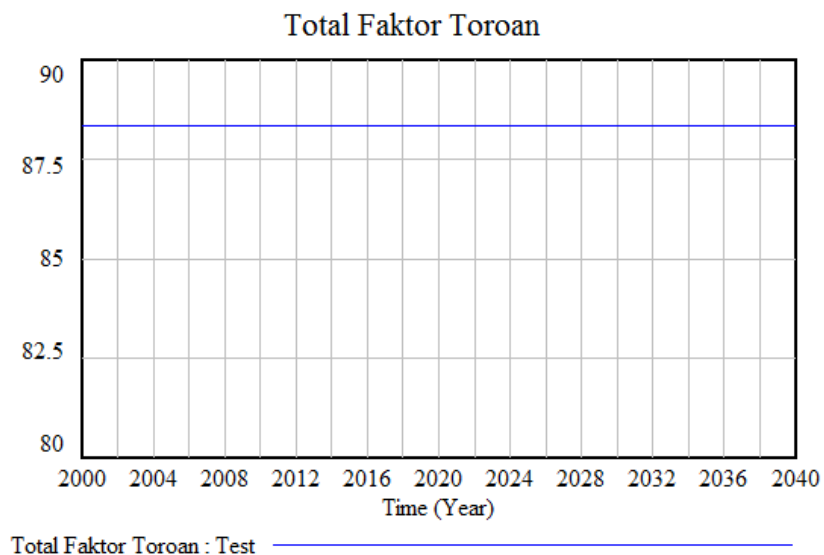
Gambar 4. 28 Hasil Running Simulasi Total Faktor Daerah Oyong

Dari hasil running simulasi, didapatkan total nilai faktor untuk daerah Oyong adalah 85%. Angka ini akan digunakan untuk menghitung reliabilitas dari sebuah lokasi pembangkitan energi listrik. Berikut hasil running simulasi dari kelayakan lokasi pembangkit untuk daerah Oyong. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa Oyong memiliki sumberdaya untuk pembangkitan tenaga listrik.



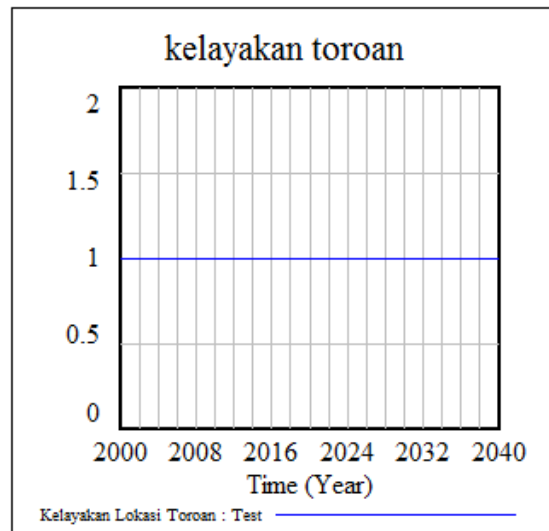
Gambar 4. 29 Hasil running Simulasi Kelayakan Lokasi Oyong

Untuk daerah lain yang menjadi pertimbangan dalam membangun pembangkitan tenaga listrik di Kabupaten Sampang adalah Air Terjun Toroan. Sesuai dengan sumberdaya air nya, maka lokasi ini cocok untuk dibangun PLT Air. Hal ini dibuktikan dengan hasil running simulasi untuk total faktor air terjun Toroan di bawah ini. Dari hasil simulasi menunjukkan Air Terjun Toroan memiliki nilai total 80% dan memenuhi kriteria untuk dibangun pembangkitan tenaga listrik.



Gambar 4. 30 Hasil Running Simulasi Total Faktor Lokasi Pembangkitan Air Terjun Toroan

Sedangkan untuk kelayakan lokasi ditunjukkan oleh grafik berikut. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa lokasi Air Terjun Toroan layak untuk dibangun pembangkitan tenaga listrik.



Gambar 4. 31 Hasil Running Simulasi Kelayakan Pembangkit untuk Lokasi Air Terjun Toroan

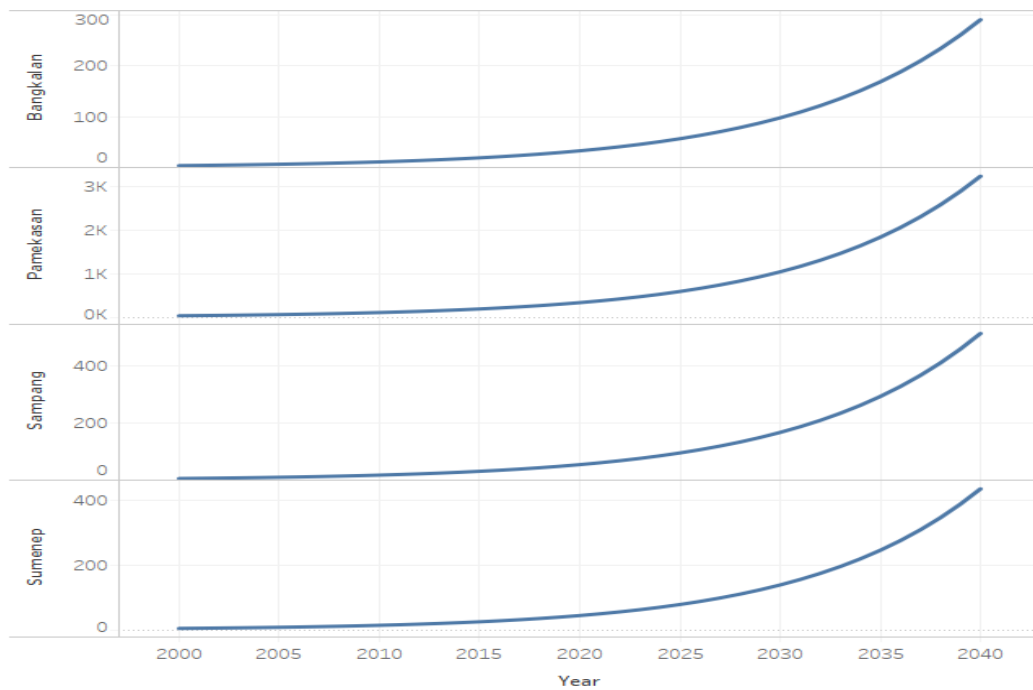
4.4 Pengembangan Dashboard

Data yang divisualisasikan dalam bentuk grafik akan lebih mudah dan menarik untuk dibaca dan dianalisa secara menyeluruh untuk mempertimbangkan keputusan para pemangku kepentingan. Dengan kata lain pihak manajemen dapat mengidentifikasi peluang dan masalah yang ada untuk menjadi masukan dalam merumuskan strategi serta meningkatkan kinerja organisasi.

4.4.1 Perbandingan Kebutuhan Energi Listrik Kepulauan Madura

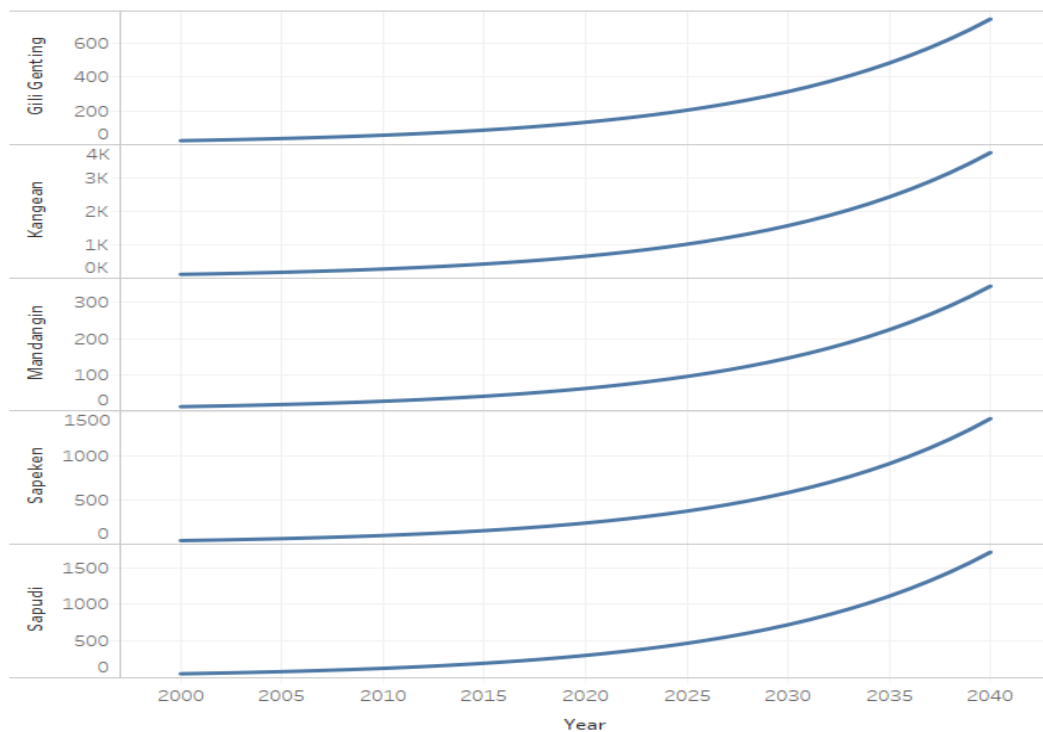
Pertumbuhan permintaan energi listrik di Pulau Madura sekitar 9% setiap tahunnya dan jumlah ini semakin meningkat. Berikut ini adalah visualisasi pertumbuhan permintaan energi listrik untuk Kabupaten utama di Madura mulai tahun 2000 sampai 2040. Serta pertumbuhan energi listrik untuk pulau-pulau kecil, yaitu Pulau Kangean, Pulau sapeken, Pulau Sapudi, Pulau Gili Genting dan Pulau Mandangin.

Madura Demand



Gambar 4. 32 Pertumbuhan Permintaan Energi Listrik Kabupaten Utama Madura

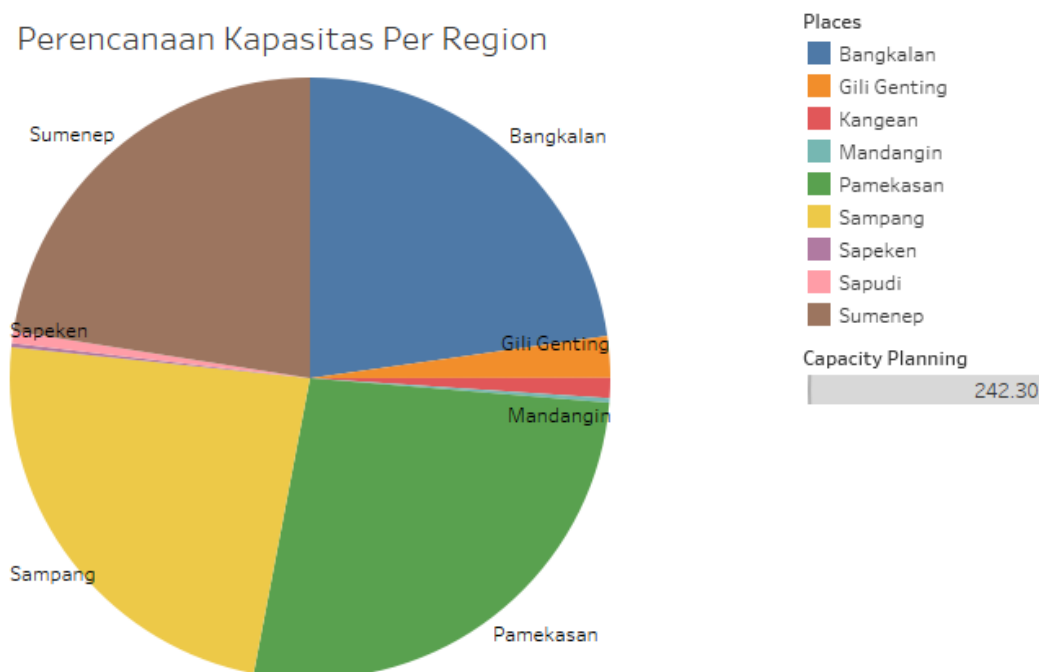
Demand Pulau Kecil



Gambar 4. 33 Pertumbuhan Permintaan Energi Listrik Pulau-Pulau Kecil Madura

4.4.2 Perencanaan Kapasitas Pembangkit Masing-Masing Kabupaten

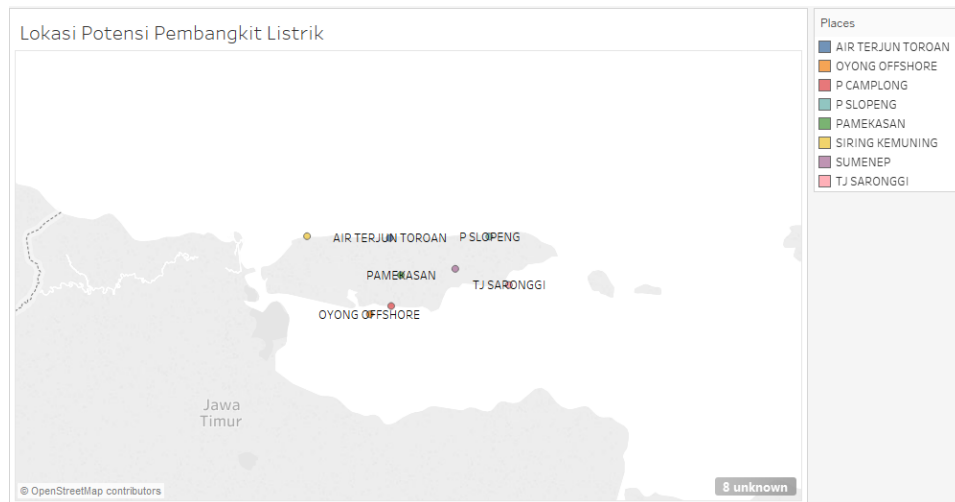
Untuk meningkatkan rasio elektrifikasi dan menjaga keberlanjutan pasokan listrik untuk memenuhi kebutuhan pelanggan, maka PT PLN perlu merencanakan kapasitas pembangkit listrik yang nantinya dapat menangani beban puncak masing-masing region. Berikut grafik visualisasi perencanaan kapasitas untuk kepulauan Madura. Kabupaten Pamekasan direncanakan memiliki kapasitas sebesar 64.74 mw, Kabupaten Bangkalan 55.12 mw, Kabupaten Sampang 57.3 mw dan Kabupaten Sumenep 54.5 mw. Sedangkan untuk pulau kecil tidak memiliki kapasitas terlalu besar. Pulau Sapudi direncanakan sebesar 1.56 mw, Pulau Sapeken 0.48 mw, Pulau Mandangin 0.6 mw, Pulau Kangean 2.64 mw dan Pulau Gili Genting 5.4 mw. Total kapasitas adalah 242.3 mw.



Gambar 4. 34 Visualisasi Perencanaan Kapasitas per Region

4.4.3 Pemetaan Daerah Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik

Pulau Madura memiliki beberapa sumber daya alam, baik itu sumber daya alam fosil maupun sumber daya alam terbarukan. Sumber daya alam tersebut nantinya dapat digunakan sebagai bahan penggerak generator pembangkit listrik. Sumber daya alam tersebut tersebar di beberapa kabupaten utama Pulau Madura. Berikut adalah tampilan visualisasi pemetaan daerah lokasi yang berpotensi untuk dikembangkan pembangkit listrik guna memenuhi kebutuhan energi listrik Pulau Madura.



Gambar 4. 35 Pemetaan Potensi Lokasi Pembangkitan Energi Listrik Pulau Madura

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari seluruh proses penelitian yang telah dilakukan. Selain itu juga disampaikan beberapa saran dan masukan yang sekiranya dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

- a. Dalam merencanakan kapasitas pembangkit listrik terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan. Diantaranya adalah permintaan energi listrik tahunan, beban puncak pembangkit per wilayah serta spare beban (*reserve margin*) sebesar 20% dari daya terpasang.
- b. Beberapa faktor yang mempengaruhi kelayakan lokasi pembangkitan energi listrik adalah faktor teknis. Faktor ini terkait ketersediaan sumber daya dalam membangun pembangkit serta kedekatan dengan pusat beban dan pemukiman. Faktor ekonomis terkait dengan penentuan lokasi yang menguntungkan secara ekonomi seperti pengadaan bahan baku pembangkit, biaya tenaga kerja dan daya beli konsumen. Faktor social dilakukan untuk mengetahui manfaat dan kesiapan masyarakat dalam menerima pembangkit listrik. Faktor lingkungan merupakan daya dukung lingkungan, artinya segala sesuatu yang berada di sekitar lokasi yang dapat menunjang kelancaran pengembangan dan pembangunan pembangkit.
- c. Untuk pembangkit listrik tenaga air, beberapa variable yang perlu diperhatikan diantaranya adalah tinggi air terjun, tinggi dan lebar bendungan dan debit air terjun.
- d. Untuk Kabupaten Sampang terdapat tiga daerah yang dapat dipertimbangkan untuk lokasi pembangkitan energi listrik. Yaitu Pantai Camplong untuk pembangkit listrik tenaga uap, Air Terjun Toroan untuk pembangkit listrik tenaga air dan lepas pantai Oyong untuk pembangkit listrik tenaga gas. Untuk Kabupaten Pamekasan terdapat satu daerah yang berpotensi untuk dikembangkan pembangkit energi listrik, yaitu daerah Ketapang untuk pembangkit listrik tenaga uap. Untuk Kabupaten

Bangkalan terdapat satu lokasi yang berpotensi untuk pengembangan pembangkitan energi listrik, yaitu Tanjung di dekat Pantai Siring Kemuning untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga uap. Untuk Kabupaten Sumenep terdapat dua lokasi yang berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik. Yaitu Tanjung Saronggi dan Pantai Slopeng. Jenis pembangkit yang cocok untuk Tanjung Saronggi adalah pembangkit listrik tenaga gas. Untuk Pantai Slopeng adalah pembangkit listrik tenaga uap. Dengan adanya potensi sumber daya gas di Sumenep dan Sampang, maka di dua daerah ini dapat dikembangkan pembangkit listrik tenaga gas.

- e. Dari hasil simulasi pada model rasio daya yang dibangkitkan dari PLTA Air Terjun Toroan terhadap pemenuhan kebutuhan daya di Kabupaten sampang pada tahun 2040 mencapai 0.381%.
- f. Dari hasil simulasi pada model utilisasi gas di Kabupaten Sampang pada tahun 2040 mencapai 6.3%. Sedangkan untuk utilisasi penggunaan batubara untuk memenuhi kebutuhan permintaan listrik di Sampang mencapai 0.000024879%.
- g. Utilisasi penggunaan batubara untuk pembangkit listrik tenaga uap pada Kabupaten Pamekasan pada tahun 2040 mencapai 0.0001563%. Sedangkan untuk Kabupaten Bangkalan mencapai 0.00001408%.
- h. Untuk utilisasi batubara pada tahun 2040 di Kabupaten Sumenep mencapai 0.00003%.

5.2 Saran

Negara Indonesia terkenal akan sumber daya alam yang melimpah. Namun saat ini pemerintah masih kurang memberi perhatian mengenai pengembangan pembangkitan energi listrik untuk daerah kepulauan mengingat Negara Indonesia adalah Negara kepulauan. Saat ini pusat beban terdapat di Pulau Jawa, sedangkan pulau-pulau lain, terutama pulau-pulau kecil di Indonesia timur masih belum terjamah energi listrik.

Dengan merujuk kepada sasaran utama pembangunan yang telah dicanangkan pemerintah melalui PT PLN terkait master plan pembangunan kelistrikan nasional melalui visi 75/100, maka pembangunan kelistrikan di pulau-pulau kecil dan masyarakat yang tinggal di desa terpencil harus menjadi prioritas

yang utama. Visi 75/100 adalah target pencapaian rasio elektrifikasi di Indonesia menjadi 100% di ulang tahun kemerdekaan RI yang ke 75 tahun pada 2020. Pembangunan berbagai pembangkit listrik melalui pemanfaatan sumber energi baru terbarukan diharapkan dapat menstimulasi peningkatan ekonomi masyarakat setempat secara signifikan.

Untuk mendukung program peningkatan rasio elektrifikasi di Indonesia dan sejalan dengan perkembangan teknologi pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT), diharapkan adanya kajian lebih lanjut mengenai pemanfaatan radiasi sinar matahari, angin, gelombang dan pasang surut air laut serta *ocean thermal energi conversion* dengan mempertimbangkan kebutuhan dan potensi daerah setempat, terutama pulau-pulau kecil di Indonesia timur.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- Axella, O., & Suryani, E. (2012). Aplikasi Model Sistem Dinamik untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri. *Jurnal Teknik ITS Vol 1*.
- Irhas, & Suryaningsih, R. (2014). Study on Wave Energi into Electricity in the South Coast of Yogyakarta, Indonesia. *Energi*, 47, 149-155.
- Kementerian energi dan Sumber Daya Mineral. (2008). Retrieved from Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral: <http://www.esdm.go.id/departemen-energi-dan-sumber-daya-mineral.html>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2008). Retrieved from Dirjen Ketenagalistrikan: <http://www.esdm.go.id/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan.html>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2009). *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Energi Sumber Daya Mineral. (2008). Retrieved from Dirjen Energi Baru, Terbarukan dan Konversi energi: <http://www.esdm.go.id/direktorat-jenderal-energi-baru-terbarukan-dan-konservasi-energi.html>
- Lestari, N. P., Tama, I. P., & Hardiningtyas, D. (n.d.). Analisa Sistem Produksi Terhadap Profit Perusahaan Dengan Pendekatan Simulasi Sistem Dinamik.
- Liliana. (2012). Simulasi Dinamika dan Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik Dengan Menggunakan Power System Stabilizer (PSS). *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*.
- Muchlis, M., & Permana, A. D. (n.d.). Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 - 2020.

- Nugroho, A. W., Suryoatmojo, H., & Anam, S. (n.d.). Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik Pasang Surut di Balikpapan.
- Pamudji, N. (2015). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2015-2024*. Jakarta: PT PLN (Persero).
- Power, D. J., & Sharda, R. (2007). Model-Driven Decision Support System: Concepts and Research Directions. *Decision Support System*, 43, 1044-1061.
- Tarif Tenaga Listrik*. (2011). Retrieved from PT PLN (Persero): <http://www.pln.co.id>
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12, 183-210
- Saptari, M. A. (2014). *Pengembangan Model Sistem Dinamik Untuk Meningkatkan Kepuasan Pelanggan Energi Listrik (Studi Kasus: PLN Pamekasan)* (Persero), P. P. (2011). *Statistik PLN 2011*. Jakarta: Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero).

LAMPIRAN I

RANGKUMAN RUMUS PERHITUNGAN

Kategori	Formulasi
Rasio Elektrifikasi	$RE = \frac{\text{Jumlah pelanggan berlistrik}}{\text{jumlah rumah tangga}} \times 100\%$
Rasio Pemenuhan Daya	$\text{Rasio Pemenuhan} = \frac{\text{Jumlah supply daya listrik}}{\text{Jumlah demand daya listrik}} \times 100\%$
Mean Comparasion (E1)	$E_1 = \frac{ \text{Nilai rata - rata simulasi } (\bar{S}) - \text{Nilai rata - rata data } (\bar{A}) }{\text{Nilai rata - rata data } (\bar{A})}$
Error Variance (E2)	$E_2 = \frac{ \text{Standar deviasi simulasi } (\bar{Ss}) - \text{Standar deviasi data } (\bar{Sa}) }{\text{Standar deviasi data } (\bar{Sa})}$
Daya PLTA	Daya = Debit air * tinggi tebing * efisiensi turbin * konstanta gravitasi
Jumlah Gas untuk PLTG	Kebutuhan Gas = Jumlah jam dalam setahun * natural gas heat rate * kebutuhan listrik suatu wilayah * efisiensi turbin
Jumlah batubara untuk PLTU	Kebutuhan batubara = batubara untuk generate 1 kWh * jumlah jam dalam setahun * kebutuhan listrik suatu wilayah * 0.001
Utilisasi Batubara	Utilisasi = jumlah kebutuhan batubara / suplai batubara dari Kalimantan
Utilisasi Gas	Utilisasi Gas = jumlah gas terbakar / suplai gas dari Oyong
Kapasitas Photovoltaic	Kapasitas PV = Jam operasional * jumlah panel surya 100 watt peak * suplai listrik 100 watt peak
Perencanaan Kapasitas Pembangkit	Rencana Kapasitas = Spare Beban 20% * beban puncak suatu wilayah

[halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN II

SATUAN DAYA LISTRIK, BIAYA OPERASIONAL PEMBANGKIT, BIAYA OPERASIONAL PER KWH

A. Biaya Operasional Pembangkit Listrik

Referensi: Statistik PLN, 2011 – 2015

Jenis Pembangkit	Biaya Operasional (Juta Rp)				
	2011	2012	2013	2014	2015
PLTA	1.607.087,88	1.640.491,16	2.168.221,59	2.112.022,86	2.112.864,5
PLTG	18.644.398,55	13.393.423,26	17.479.043,27	15.753.283,85	11.383.098,48
PLTU	36.682.295,71	59.807.140,65	58.227.841,65	64.828.004,01	51.910.454,98

B. Biaya Operasi Pembangkit Rata-Rata per kWh

Jenis Pembangkit	Biaya Operasi Rata-Rata per kWh (Rp / kWh)				
	2011	2012	2013	2014	2015
PLTA	155,79	155,87	166,66	189,19	211,19
PLTG	2.260,96	2.362,99	2.954,38	2.892,8	3.306,22
PLTU	588,47	810,14	719,52	726,37	541,78

C. Satuan Daya Listrik

No.	Keterangan	SATUAN
1	Energi Listrik	Mega Watt Hour (MWh) $1 \text{ MWh} = 10^3 \text{ kWh}$ $= 10^6 \text{ watt hour}$
2	Daya Listrik	Volt Ampere (VA) $1 \text{ VA} = 10^{-3} \text{ kVA}$ $1 \text{ Watt} = \text{VA} \times 0,8$
3	Daya Listrik Aktif	Mega Watt (MW) $1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW}$ $= 10^6 \text{ Watt}$

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BIODATA PENULIS



Addin Aditya, lahir di Kota Malang pada tanggal 02 Juni 1991 adalah anak ke 2 dari 3 bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN Dinoyo III Malang, SMPN 4 Malang, SMUN 4 Malang dan jenjang strata-1 di Sekolah Tinggi Informatika dan Komputer Indonesia Malang, jurusan Teknik Informatika angkatan 2009. Penulis pernah bekerja sebagai asisten dosen selama 2 tahun pada mata kuliah Pemrograman Visual, Sistem Operasi, Jaringan Komputer dan Pemrograman Aplikasi Mobile.

Penulis lulus pada tahun 2013. Selanjutnya penulis melanjutkan studi jenjang magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dengan bidang minat pemodelan dan simulasi sistem dinamik. Penulis juga sempat menjadi pengajar lepas di Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu oleh penulis diantaranya adalah Algoritma dan Pemrograman, Pemrograman Sistem Informasi, Pemrograman .NET Framework, Interaksi Manusia dan Komputer, Sistem Informasi Manajemen dan Konsep E-Bisnis. Penulis dapat dihubungi melalui email di addinaditya@gmail.com